

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:

Ken-ichi NAKAMOTO et al.

Application No.: NEW

Group Art Unit: Not Yet Assigned

Filed: January 26, 2004

Examiner: Not Yet Assigned

For: MACH-ZEHNDER INTERFEROMETER TYPE OPTICAL FILTER AND CONTROL
METHOD THEREOF

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR FOREIGN
APPLICATION IN ACCORDANCE
WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. § 1.55**

Commissioner for Patents
PO Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. § 1.55, the applicant(s) submit(s) herewith
a certified copy of the following foreign application:

Japanese Patent Application No(s). 2003-18051

Filed: January 27, 2004

It is respectfully requested that the applicant(s) be given the benefit of the foreign filing
date(s) as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the
requirements of 35 U.S.C. § 119.

Respectfully submitted,

STAAS & HALSEY LLP

Date: January 26, 2004

By: 

J. Randall Beckers
Registration No. 30,358

1201 New York Ave, N.W., Suite 700
Washington, D.C. 20005
Telephone: (202) 434-1500
Facsimile: (202) 434-1501

JAPAN PATENT OFFICE

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this office.

Date of Application: January 27, 2003

Application Number: Patent Application No. 2003-018051
[ST.10/C] [JP2003-018051]

Applicant(s): FUJITSU LIMITED

December 9, 2003

Commissioner,

Japan Patent Office Yasuo IMAI

Certificate No.P2003-3101637

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 1 月 2 7 日
Date of Application:

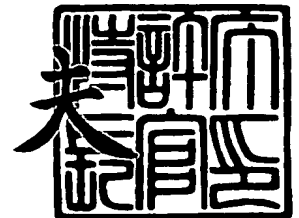
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 0 1 8 0 5 1
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 0 1 8 0 5 1]

出 願 人 富 士 通 株 式 会 社
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 2 月 9 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 1 0 1 6 3 7

【書類名】 特許願

【整理番号】 0251398

【提出日】 平成15年 1月27日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H04J 14/02

【発明の名称】 マッハツェンダ干渉計型光フィルタ及びその制御方法

【請求項の数】 5

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内

 【氏名】 中本 健一

【発明者】

 【住所又は居所】 北海道札幌市北区北七条西四丁目 3 番地 1 富士通東日本デジタル・テクノロジー株式会社内

 【氏名】 吉田 節生

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内

 【氏名】 尾中 寛

【特許出願人】

 【識別番号】 000005223

 【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100074099

 【住所又は居所】 東京都千代田区二番町 8 番地 2 0 二番町ビル 3 F

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 大菅 義之

 【電話番号】 03-3238-0031

【選任した代理人】**【識別番号】** 100067987**【住所又は居所】** 神奈川県横浜市鶴見区北寺尾 7-25-28-503**【弁理士】****【氏名又は名称】** 久木元 彰**【電話番号】** 045-573-3683**【手数料の表示】****【予納台帳番号】** 012542**【納付金額】** 21,000円**【提出物件の目録】****【物件名】** 明細書 1**【物件名】** 図面 1**【物件名】** 要約書 1**【包括委任状番号】** 9705047**【プルーフの要否】** 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 マッハツェンダ干渉計型光フィルタ及びその制御方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光フィルタであって、
縦列接続された第 1、第 2 及び第 3 のマッハツェンダ干渉計と、
前記第 1 及び第 2 のマッハツェンダ干渉計の光路長を変化させる第 1 及び第 2 の光路長変化手段と、
第 1 の光路長変化手段及び第 2 の光路長変化手段を用いて前記光フィルタのフィルタ消光比を制御する制御手段とを備え、
前記制御手段は、前記第 1 の光路長変化手段による光路長の変化量と前記第 2 の光路長変化手段による光路長の変化量とを、前記光フィルタのフィルタ平均挿入損失、前記フィルタ消光比、並びに前記第 1 及び第 2 の光路長変化手段による前記光路長の変化量とが所定の関係を満たすように設定する、
ことを特徴とする光フィルタ。

【請求項 2】 前記制御装置は、前記関係に基づいて、前記光フィルタのフィルタ平均挿入損失を一定値に保ちながら前記フィルタ消光比を変化させるように、前記第 1 及び第 2 の光路長変化手段による前記光路長の変化量を設定する、
ことを特徴とする請求項 1 に記載の光フィルタ。

【請求項 3】 前記制御装置は、前記関係に基づいて、前記光フィルタのフィルタ消光比を一定値に保ちながら前記フィルタ平均挿入損失を変化させるように、前記第 1 及び第 2 の光路長変化手段による前記光路長の変化量を設定する、
ことを特徴とする請求項 1 に記載の光フィルタ。

【請求項 4】 前記制御装置は、前記関係に基づいて前記第 1 及び第 2 の光路長変化手段による前記光路長の変化量を設定することにより、前記光フィルタのフィルタ消光比と前記フィルタ平均挿入損失とを互いに独立させて制御する、
ことを特徴とする請求項 1 に記載の光フィルタ。

【請求項 5】 光フィルタの制御方法であって、
前記光フィルタは、
縦列接続された第 1、第 2 及び第 3 のマッハツェンダ干渉計と、

前記光フィルタのフィルタ消光比を制御するために前記第 1 及び第 2 のマッハツェンダ干渉計の光路長を変化させる第 1 及び第 2 の光路長変化手段とを備え、

前記第 1 の光路長変化手段による光路長の変化量と前記第 2 の光路長変化手段による光路長の変化量とを、前記光フィルタのフィルタ平均挿入損失、前記フィルタ消光比、並びに前記第 1 及び第 2 の光路長変化手段による前記光路長の変化量とが所定の関係を満たすように設定する、

ことを含むことを特徴とする光フィルタの制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、波長分割多重伝送システム（以下、WDMシステム、WDM: Wave length Division Multiplex）において使用される光利得等化器に関し、特に、光利得等化器を制御する技術に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、光ファイバ製造技術の向上により低損失な光ファイバが出現したために、光ファイバ通信システムが実用化されている。また、長距離伝送を実現するために光ファイバ伝送路の損失を補償する装置として、信号光を増幅する光増幅器が実用化されている。一方で、伝送路容量を増大させるための方法として、WDMシステムがある。WDMシステムとは、複数の異なる周波数（波長）を持つ信号光を多重化し、1本の光ファイバを用いて伝送するシステムである。

【0003】

ところで、多重化された信号光を一括して増幅する光増幅器を使用する際、光増幅器による利得の周波数（波長）依存性のために、光増幅器を通過した後の信号光パワーは、周波数（波長）によって異なってしまう。さらに、多数の光増幅器を縦列接続すると、このような信号光パワーの偏差は累積することとなってしまう。また、長距離伝送においては、伝送路ファイバによる損失の周波数（波長）依存性によっても、信号光パワーの偏差は累積する。このようにして発生する信号光パワーの偏差及び光信号対雑音比（OSNR: Optical Signal to Noise

Ratio) は、伝送距離を制限し、また、受信端での受信感度を劣化させる要因として問題となっていた。

【0004】

伝送距離を延ばすためにこのような雑音を除去する技術として、以下の第1の発明がある。第1の発明によれば、強度変調された入力光が注入され、その光強度により出力発信周波数が変化する半導体レーザと、その半導体レーザの出力光が導入されその光周波数に対して実質的に2つの透過率の何れか一方を示す光フィルタを備える光パルス波形整形装置を構成する。上記構成において、入力光強度が小さい時の半導体レーザの出力周波数に対して光フィルタが阻止状態、入力光強度がある程度大きく、且つ、半導体レーザの出力周波数が変化した時に光フィルタが透過状態となる。これにより、消光比が高く、雑音除去効果が高い光パルス波形整形装置を実現する。ここで、上記光フィルタは、互いに光路長の異なる2つの光導波路の一方にリング共振器が設けられ、入力光を分岐して上記2つの光導波路に伝搬させた後に合波するリング共振器つきマッハツェンダ干渉計を含むこととしても良い（例えば、特許文献1参照）。

【0005】

また、一方で、伝送距離を延ばすために、光増幅器や伝送路ファイバの利得・損失の周波数（波長）依存性を補償する補償用光部品として、光利得等化器が提案され、活発に研究開発がされつつある。

【0006】

従来、周波数（波長）軸上における透過特性の変化周期（以下、FSR、FSR：Free Spectral Range）が互いに異なる複数の周期フィルタを多段縦列接続することによって構成される光利得等化器が検討されていた。そのなかでも、小型化・低コスト化に有利であるとして、周期フィルタにマッハツェンダ干渉計型光フィルタを用いた、マッハツェンダ干渉計型光フィルタの多段縦列接続型光利得等化器が有力候補として主に検討されてきた。周期フィルタは、周波数（波長）軸上において、正弦波状の可変透過特性を有する。従って、互いに異なる周期を有する複数の正弦波を重畳することにより、任意のフィルタ形状を形成することが可能であることはフーリエ級数展開法から明らかである。故に、FSRの互

いに異なる複数の周波数フィルタを多段縦列接続することにより任意の透過特性を有する光利得等化器を実現する事は原理的に可能である。

【0007】

このマッハツェンダ干渉計型光フィルタを多段縦列接続することにより構成される光利得等化器に関する技術として、以下の第2の発明がある。第2の発明によれば、FSRが互いに異なる第1及び第2のマッハツェンダ型光フィルタを縦列接続することにより、第1のマッハツェンダ型光フィルタでは平坦化しきれなかった利得波長（又は周波数）特性のフィルタ均一性を、第1のマッハツェンダ型光フィルタとはFSRが異なる第2のマッハツェンダ型光フィルタで平坦化させる。これにより、光増幅器の段数が多い場合やその利得のアンバランスが大きい場合でも良好な伝送特性を確保する事ができる光利得等化器を実現する（例えば、特許文献2参照）。

【0008】

【特許文献1】

特開平7-321742号公報（特許請求の範囲及び要約）

【特許文献2】

特開平6-276154号公報

【特許文献3】

特開平5-61077号公報

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

上記の従来技術によれば、光増幅器や伝送路ファイバの利得・損失の周波数（波長）依存性を補償することが可能であるが、制御方法において問題があった。以下、簡単のため、図1に示すような1段のマッハツェンダ干渉計型光フィルタの場合について説明する。図1に示すマッハツェンダ干渉計型光フィルタにおいて、第1マッハツェンダ干渉計、第2のマッハツェンダ干渉計及び第3のマッハツェンダ干渉計が縦列接続されている。さらに、第1のマッハツェンダ干渉計は、入力側光ファイバ21に接続され、第3のマッハツェンダ干渉計は、出力側光ファイバ22に接続されている。また、各マッハツェンダ干渉計には光路長変化

部が備えられている。

【0010】

第1のマッハツェンダ干渉計に備えられる光路長変化部11及び第2のマッハツェンダ干渉計に備えられる光路長変化部12は、フィルタ消光比の制御に使用され、第3のマッハツェンダ干渉計に備えられる光路長変化部13は、フィルタ位相の制御に使用される。従来技術によれば、図1に示すような光フィルタを制御する際には、光路長変化部11と12に共に等しい光路長変化量を与えて、フィルタ消光比を制御する。これは、光路長変化部11と12に、互いに異なる光路長変化量を与えると、フィルタ消光比が大きな周波数（波長）依存性を持つこととなるため、フィルタの正弦波状の透過特性が崩れてしまうからである。

【0011】

この従来の制御方法を用いると、フィルタ消光比を制御する際に、フィルタ平均挿入損失が変動してしまう。具体的には、フィルタ消光比の増大に伴い、フィルタ平均挿入損失も増大し、フィルタ消光比の減少に伴い、フィルタ平均挿入損失も減少する。以下、図1に示すマッハツェンダ干渉計型光フィルタの制御について、理論計算を用いて説明する。以下の説明において、光路長変化部11、12、13に付加する光路長変化量をそれぞれ ΔL_1 、 ΔL_2 、 ΔL_3 とする。また、 A_0 を光入力端として、 A_1 を光出力端とする。これは、 $\Delta L_1 = \Delta L_2 = \Delta L_3 = 0$ (m) とした時に全透過となり、システム上都合がよいためである。フィルタの制御パラメータとしては、フィルタ消光比とフィルタ位相があり、 ΔL_1 及び ΔL_2 がフィルタ消光比の制御に、 ΔL_3 がフィルタ位相の制御に使用される。

【0012】

$A_0 = 1$ 、 $B_0 = 0$ の場合、上側の導波路端 A_1 での光出力強度 $P_{\alpha 1}$ は下記の(1)式で表される。

【0013】

【数 1】

$$\begin{aligned}
 P_{a1} &= |A_1|^2 \\
 &= \frac{1}{8} \left(4 + 2 \cos \left\{ \frac{2\pi(\Delta L_1 - \Delta L_2)\nu}{c} \right\} + 2 \cos \left\{ \frac{2\pi(\Delta L_1 + \Delta L_2)\nu}{c} \right\} \right. \\
 &\quad + \cos \left[\frac{2\pi\{c - (\Delta L_1 + \Delta L_2 - \Delta L_3)\Delta\nu\}\nu}{c\Delta\nu} \right] - \cos \left[\frac{2\pi\{c + (\Delta L_1 - \Delta L_2 + \Delta L_3)\Delta\nu\}\nu}{c\Delta\nu} \right] \\
 &\quad \left. - \cos \left[\frac{2\pi\{c + (-\Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3)\Delta\nu\}\nu}{c\Delta\nu} \right] + \cos \left[\frac{2\pi\{c + (\Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3)\Delta\nu\}\nu}{c\Delta\nu} \right] \right) \dots (1)
 \end{aligned}$$

【0014】

(1) 式において、 c 、 ν 及び $\Delta\nu$ は、それぞれ光速 (m/s)、光の周波数 (Hz) 及びフィルタの FSR (Hz) を示す。

上記のように、従来の制御方法では、フィルタ消光比の制御は $\Delta L_1 = \Delta L_2$ の条件を満たしながら、これらを変化させて行われるため、ここで $\Delta L_1 = \Delta L_2 = \Delta L$ と置き直し、またフィルタ位相の制御は関係ないので $\Delta L_3 = 0$ として (1) 式に示す P_{a1} を簡略化すると、下記の (2) 式のようにになる。

【0015】

【数 2】

$$P_{a1} = \frac{1}{4} \left\{ 4 + \left(\cos \frac{2\pi\nu}{\Delta\nu} + 1 \right) \left(\cos \frac{4\pi\Delta L\nu}{c} - 1 \right) \right\} \dots (2)$$

【0016】

(2) 式において ΔL を変化させた時のフィルタスペクトル及びその時のフィルタ平均挿入損失を図 21 から図 25 に示す。図 21 から図 25 は、それぞれ、フィルタ消光比が 1、2、6、10、14 dB であり、 ΔL が 1.15×10^{-7} 、 1.6×10^{-7} 、 2.58×10^{-7} 、 3.08×10^{-7} 、 3.37×10^{-7} m である時のフィルタスペクトル及びフィルタ平均挿入損失を示している。図 21 から図 25 において、横軸は光周波数を示す。光周波数範囲は 191 から 197 THz、 $\Delta\nu = 1$ THz としている。縦軸は、フィルタ減衰量を示し、 P_{a1} の対数をとった $10 \log_{10} (P_{a1})$ についてプロットしている。細い実線がフィルタスペクトルを示し、太

い実線がフィルタ平均挿入損失を示す。

【0017】

図 21 から図 25 より、フィルタ消光比を 1、2、6、10、14 dB と次第に大きくなるように変化させた際に、フィルタ平均挿入損失も、それぞれ、約 0.5、約 1、約 2、約 2.5 及び約 2.8 dB と次第に大きくなっていくことが分かる。このように、従来技術によれば、光フィルタのフィルタ消光比を制御するとフィルタ平均挿入損失も変化する。

【0018】

次に、図 26 に、最も単純な光利得等化器の構成例として、光フィルタを 2 段縦列接続した光利得等化器の構成例を示す。光フィルタのフィルタ平均挿入損失が変化すると、光フィルタを多段接続することによって構成される図 26 に示すような光利得等化器の平均挿入損失も変化する。そして、この現象は光利得等化器を光伝送システムに挿入した際に問題となる。なぜならば、通常、光利得等化器は光増幅器に挟まれる形でシステムに挿入され、その光増幅器は、平均出力パワー一定制御（以下 APC 制御、APC：Auto Power Control）にて動作している。従って、光利得等化器の平均挿入損失が変動すると、光利得等化器の平均出力パワーも変動するために、後段に配置された光増幅器の動作条件が変化するからである。また、システム設計が困難になるという問題もある。

【0019】

次に、図 27 に、光増幅器の構成例を示す。図 27 に示す光増幅器は、光出力を増大させるために第 1 の光増幅器 32-1 及び第 2 の光増幅器 32-2 を縦列に接続し、これらの間に固定（制御なし）の光利得等化器 51 及び可変光減衰器（VOA：Variable Optical Attenuator）61 を配置する。入力側に配置される光増幅器 32-1 は低ノイズのものであり、出力側に配置される光増幅器 32-2 は高出力パワーのものである。また、第 1 の光増幅器 32-1 の入力側、光利得等化器 51 と可変光減衰器 61 の間、第 2 の光増幅器 32-2 の入力側、光増幅器 32-2 の出力側に、それぞれ光分岐器 31-1、31-2、31-3 及び 34 を配置し、分岐先に、それぞれ、フォトダイオード（PD）35-1、35-2、35-3 及び 35-4 を接続する。

【0020】

第1の光増幅器32-1及び第2の光増幅器32-2への入力パワーが変動する際に、そのチルトが大幅に変動しないように、第1の光増幅器32-1及び第2の光増幅器32-2は、それぞれ、PD35-1及び35-2、並びに、PD35-3及び35-4を用いて、利得一定制御される（AGC: Auto Gain Control）。VOA61は、光増幅器32-1の入力パワーが変動した際でも光増幅器32-2の入力パワー（及び出力パワー）が一定になるように、PD35-2を用いて制御される（ALC: Automatic Level Control）。これにより、入力ダイナミックレンジを確保する。なお、これらの制御は、すべて制御回路80によって一括して行われる。このように、光フィルタを用いて構成される光利得等化器を用いた光増幅器では、光増幅器32-2への入力パワーを一定にするために、VOA61が必要であるという問題もあった。

【0021】

以上の問題に鑑み、フィルタ消光比とフィルタ平均挿入損失を独立に制御する事が可能なマッハツェンダ干渉計型光フィルタ及びその制御方法を提供することが、本発明が解決しようとする第1の課題である。また、平均挿入損失を一定値に保った状態でフィルタの透過特性を制御することが可能な光利得等化器及びその制御方法を提供することが、本発明が解決しようとする第2の課題である。更に、また、より簡単な構造を有する光増幅器を提供することが本発明が解決しようとする第3の課題である。

【0022】

【課題を解決するための手段】

上記問題を解決するために、本発明の1態様によれば、第1、第2及び第3のマッハツェンダ干渉計と、上記第1及び第2のマッハツェンダ干渉計の光路長を変化させる第1及び第2の光路長変化手段と、第1の光路長変化手段及び第2の光路長変化手段を用いて上記光フィルタのフィルタ消光比を制御する制御手段とを備える光フィルタにおいて、上記制御手段は、上記第1の光路長変化手段による光路長の変化量と上記第2の光路長変化手段による光路長の変化量とを、上記光フィルタのフィルタ平均挿入損失、上記フィルタ消光比、並びに上記第1及び

第2の光路長変化手段による上記光路長の変化量とが所定の関係を満たすように設定するように構成する。

【0023】

上記構成において、制御手段は、上記所定の関係に基づいて上記第1の光路長変化手段による光路長の変化量と上記第2の光路長変化手段による光路長の変化量とを設定する。これにより、光フィルタの正弦波状の透過特性を維持しながらも、フィルタ消光比を制御するための2つの光路長変化手段に異なる光路長変化量を与えることが可能となる。延いては、フィルタ消光比を制御する際に、フィルタ平均挿入損失が変動してしまうという問題を解決することが可能となる。

【0024】

ここで、上記所定の関係を示す第1の式を、導波路端での信号光の出力強度を示す第2の式から得られた、フィルタ平均挿入損失と上記第1及び第2の光路長変化手段による上記光路長の変化量との関係を示す第3の式と、上記第2の式から得られた、フィルタ消光比と上記第1及び第2の光路長変化手段による上記光路長の変化量との関係を示す第4の式とを、連立して解くことにより得ることとしてもよい。

【0025】

また、上記構成において、上記制御装置は、上記第1の式に基づいて、上記光フィルタのフィルタ平均挿入損失を一定値に保ちながら上記フィルタ消光比を変化させるように、上記第1及び第2の光路長変化手段による上記光路長の変化量を設定することとしてもよい。また、上記制御装置は、上記第1の式に基づいて、上記光フィルタのフィルタ消光比を一定値に保ちながら上記フィルタ平均挿入損失を変化させるように、上記第1及び第2の光路長変化手段による上記光路長の変化量を設定することとしてもよい。また、上記制御装置は、上記第1の式に基づいて上記第1及び第2の光路長変化手段による上記光路長の変化量を設定することにより、上記光フィルタのフィルタ消光比と上記フィルタ平均挿入損失とを互いに独立させて制御することとしてもよい。

【0026】

また、上記構成において、上記第1及び第2の光路長変化手段は、熱光学効果

を用いて上記光路長を変化させることとしてもよいし、電気光学効果を用いて前記光路長を変化させることとしてもよい。

【0027】

また、本発明の別の1態様によれば、上記構成を有する複数の光フィルタを連結することにより、光利得等化器を構成することとしてもよい。上述のように、上記光利得等化器を構成する各光フィルタのフィルタ平均挿入損失とフィルタ消光比とを独立して制御することが可能であるため、上記光利得等化器の透過波長特性と平均挿入損失を独立に制御することが可能である。従って、例えば、平均挿入損失を一定値に保った状態で透過特性を制御することが可能な光利得等化器を構成できる。故に、光利得等化器の透過特性を変化させると、平均挿入損失も変動し、そのために光利得等化器の平均出力パワーも変動することにより、後段に配置された光増幅器の動作条件が変化してしまうという従来技術の問題を解決することが可能となる。

【0028】

また、本発明の更なる別の1態様によれば、上記構成を有する光利得等化器を光伝送システムの中継区間に配置し、光増幅器のチルトを補償させるように構成することも可能である。これにより、信号光のONSRを改善し、伝送距離を延長させる事が可能となる。

【0029】

また、上記構成を有する光利得等化器を用いて光増幅器を構成することも可能となる。本発明の更なる別の1態様によれば、第1の光増幅手段と、上記第1の光増幅手段の後段に配置された第2の光増幅手段と、上記第2の光増幅手段から出力される信号光の出力パワーレベルをモニタする光信号モニタ手段と、上記構成を有する光利得等化器とを備える。そして、上記出力パワーレベルのモニタ結果に基づいて、光利得等化器の平均挿入損失は、光利得等化器を構成する各光フィルタ内の光路長変化手段を用いて、信号光パワーレベルを平坦化させるように制御される。このように、本発明の1態様に係わる光利得等化器は、透過波長特性と平均挿入損失を独立に制御する事が可能であるため、光利得等化器を信号光のパワーレベルの平坦化に用いることができる。延いては、従来技術では光増幅

器に必要であったVOAを不要とすることが可能となる。

【0030】

ここで、上記光利得等化器は、上記第1及び第2の光増幅手段の間に配置されることとしてもよいし、上記第1の光増幅手段の前段に配置されることとしてもよい。また、上記光利得等化器は、上記第2の光増幅手段と前記光信号モニタ手段の間に配置されることとしてもよい。

【0031】

また、上記光増幅器は、各光増幅手段の前段及び後段のそれぞれに、各光増幅手段を利得一定制御する光分岐器及びフォトダイオードを更に備えることとしてもよい。

【0032】

或いは、光増幅器から出力される信号光のパワーを光増幅器にフィードバックすることにより、信号光のパワーの変動に追従するように光増幅器を制御する場合、第1及び第2の光増幅手段の出力のチルトをダイナミックに補償する事ができるため、出力一定制御をすることが可能である。利得一定制御を行う場合には、各光増幅手段の前段と後段にそれぞれ光分岐器とフォトダイオードを配置する事が必要であったが、出力一定制御を行う場合は、光増幅手段の前段に光分岐器及びフォトダイオードを配置することが不要となるため、光増幅器の構成を一層簡略化することが可能となる。

【0033】

また、上記構成を有する光増幅器を、光伝送システムの中継区間に配置することとしてもよい。上記光伝送システムによれば、上記構成を有する光増幅器から出力される信号光のパワーが一定になるように制御されるため、多数の光増幅器を縦列接続するために累積してしまう信号光パワー偏差を低減し、延いては伝送距離を延長することを可能とする。

【0034】

また、上記各態様に係わる光フィルタ、光利得等化器又は光増幅器において行われる各動作と同様の手順からなる、光フィルタ、光利得等化器又は光増幅器の制御方法によっても、上記課題を解決することが可能である。

【0035】**【発明の実施の形態】**

以下、本発明の実施の形態について図面を用いて説明する。なお、同じ装置等には同じ参照番号をつけ、説明を省略する。

【0036】

図1に、マッハツェンダ干渉計型光フィルタの構成を示す。この図1については、従来技術について説明する際に説明したため、ここでは説明を省略する。次に、第1実施形態に係わる光フィルタの構成について説明する。第1実施形態に係わる光フィルタは、図1に示すようなマッハツェンダ干渉計型フィルタ100と、その駆動装置を備える。ここで、光フィルタには、平面光波回路（PLC：Planar Lightwave Circuit）構成の熱光学効果を用いたタイプや強誘電体結晶や半導体材料の電気光学効果を用いたタイプ等がある。本実施形態に係わる光フィルタは、いずれのタイプを採用しても良い。まず、図2を用いて、例として、前者の熱光学効果を用いた光フィルタの駆動装置の構成について説明する。このタイプでは、光路長変化部11、12及び13に石英系材料を用いる。そして、図2に示すように、各マッハツェンダ干渉計のアーム部にある光路長変化部11、12及び13に、薄膜抵抗ヒータ109を配置する。

【0037】

マッハツェンダ干渉計型光フィルタ100の駆動装置101は、各ヒータ109への供給電力を計測するための電流計106、電圧計107、供給電圧を変化させるための可変電圧源108、電流計106及び電圧計107のアナログ計測値をデジタルに変換して制御回路102に出力するA/D（Analog to Digital）コンバータ103及び104、並びに制御回路102から出力されたデジタル制御信号をアナログに変換して可変電圧源108に出力するD/A（Digital to Analog）コンバータ105を備える。

【0038】

制御回路102は、各ヒータ109への供給電力を可変電圧源106によって変化させる事によって、光路長変化部11、12及び13を構成する材料の屈折率を変化させ、これにより光路長変化量を制御する。ここで、制御回路102は

、後述のように、フィルタ消光比、フィルタ平均挿入損失、消光比を制御するための2つの光路長変化部11及び12に与える光路長変化量の関係を示す式（後述の（7）式）に基づいて、光路長変化部11及び光路長変化部12に与える光路長変化量を別個に設定することにより、光フィルタのフィルタ消光比及びフィルタ平均挿入損失を独立して制御する。なお、「別個に設定」とは、言い換えると、「光路長変化部11及び光路長変化部13に与える光路長変化量を常に等しく設定」するのではないということである。

【0039】

次に、図3を用いて、後者の電気光学効果を用いたタイプのマッハツェンダ干渉計型光フィルタの駆動方法について説明する。この場合の駆動装置は、図2に示す駆動装置と同様であるため、図3においては駆動装置の構成を省略する。但し、この場合、図3（d）に示すように、駆動装置からの電圧を両電極間に印加する構成となる。また、図3（a）は、図1と同じであるため説明を省略する。

【0040】

このタイプでは、光路長変化部11、12及び13にLiNbO₃やLiTaO₃等のような強誘電体結晶材料を基板として用いる。図3（b）に、光路長変化部11、12又は13の拡大図を示す。図3（b）に示すように、光路長変化部11、12、又は13は、基板上に2つの導波路、2つの方向性結合器112及び1対の電極110を有する。図3（c）に、図3（b）中の一点鎖線AA'における、この1対の電極110の断面図を示す。図3（c）に示すように、1対の電極110は、バッファ層113を介して基板に電極110を装荷する。基板内には、光導波路111が作成されており、電極110は、光導波路111の上に配置されている。電極110間には、光フィルタ100の駆動装置101から電圧が印加されており、この電圧は可変電圧源によって変化される。

【0041】

駆動装置101は、電極110間に供給する電圧を変化させることにより、電極間に生じる電界の強度を制御する。これにより、光路長変化部11、12及び13を構成する材料の屈折率を変化させ、これにより光路長変化量を制御する。

【0042】

以下、図 1 を用いて、制御回路 102 によるマッハツェンダ干渉計型光フィルタの制御方法について、理論計算を用いて説明する。以下の説明において、従来技術についての説明の場合と同様に、光路長変化部 11、12、13 に付加する光路長変化量をそれぞれ ΔL_1 、 ΔL_2 、 ΔL_3 とする。また、 A_0 を光入力端として、 A_1 を光出力端とする。

【0043】

上記の (1) 式を変形すると以下の (3) 式のようにになる。

【0044】

【数 3】

$$P_{a1} = \frac{1}{4} \left\{ 2 + \cos \frac{2\pi(\Delta L_1 - \Delta L_2)\nu}{c} + \cos \frac{2\pi(\Delta L_1 + \Delta L_2)\nu}{c} \right\} + \frac{1}{4} \cos \frac{2\pi(c + \Delta L_3 \Delta \nu)\nu}{c \Delta \nu} \left\{ \cos \frac{2\pi(\Delta L_1 + \Delta L_2)\nu}{c} - \cos \frac{2\pi(\Delta L_1 - \Delta L_2)\nu}{c} \right\} \quad \dots (3)$$

【0045】

(3) 式中には、 $\cos \{2\pi(\Delta L_1 - \Delta L_2)\nu / c\}$ 、 $\cos \{2\pi(\Delta L_1 + \Delta L_2)\nu / c\}$ 、 $\cos \{2\pi(c + \Delta L_3 \Delta \nu)\nu / (c \Delta \nu)\}$ の 3 つの周期関数成分が含まれている。また、(3) 式の下段の式の周波数軸上での積分値が 0 (零) となることは、(3) 式の形から容易に理解できる。従って、(3) 式の上段の式のみが平均出力パワーを表すことが分かる。

【0046】

この結果、フィルタ平均挿入損失を A (dB) > 0 とおくと、 A と ΔL_1 および ΔL_2 の関係式が以下の (4) 式のように表されることが分かる。

【0047】

【数 4】

$$A = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{4} \left\{ 2 + \cos \frac{2\pi(\Delta L_1 - \Delta L_2)\nu}{c} + \cos \frac{2\pi(\Delta L_1 + \Delta L_2)\nu}{c} \right\} \right] \quad \dots (4)$$

但し、 $A > 0$

【0048】

続いて、(1) 式を別の形に変形すると、以下の (5) 式ようになる。

【0049】

【数5】

$$P_a(z) = \frac{1}{4} \left\{ 2 + \cos \frac{2\pi(\Delta L_1 - \Delta L_2)\nu}{c} (1 - \cos \frac{2\pi(c + \Delta L_3 \Delta \nu)\nu}{c\Delta \nu}) \right\} \dots (5) \\ + \frac{1}{4} \left\{ 2 + \cos \frac{2\pi(\Delta L_1 + \Delta L_2)\nu}{c} (1 + \cos \frac{2\pi(c + \Delta L_3 \Delta \nu)\nu}{c\Delta \nu}) \right\} - \frac{1}{2}$$

【0050】

5) 式の中の $1 - \cos \{2\pi (c + \Delta L_3 \Delta \nu) \nu / (c \Delta \nu)\}$ 、 $1 + \cos \pi (c + \Delta L_3 \Delta \nu) \nu / c \Delta \nu$ は、ともに FSR の小さい細かいフィルタ成分を表しており、これらと $\cos \{2\pi (\Delta L_1 - \Delta L_2) \nu / c\}$ 、 $\cos \{2\pi (\Delta L_1 + \Delta L_2) \nu / c\}$ を掛け合わせたものが、全体的なフィルタスペクトルとして見られることがこの式から理解できる。

【0051】

この結果、フィルタ消光比を B (dB) > 0 とおくと、 B と ΔL_1 および ΔL_2 の関係式が以下の (6) 式のように表されることが分かる。

【0052】

【数6】

$$B = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{2} \left\{ 1 + \cos \frac{2\pi(\Delta L_1 - \Delta L_2)\nu}{c} \right\} \right] - 10 \log_{10} \left[\frac{1}{2} \left\{ 1 + \cos \frac{2\pi(\Delta L_1 + \Delta L_2)\nu}{c} \right\} \right] \\ = 10 \left\{ \log_{10} \left(1 + \cos \frac{2\pi(\Delta L_1 - \Delta L_2)\nu}{c} \right) - \log_{10} \left(1 + \cos \frac{2\pi(\Delta L_1 + \Delta L_2)\nu}{c} \right) \right\} \dots (6)$$

但し、 $B > 0$

【0053】

さらに、上記 (4) 式と (6) 式を連立させて解くことにより、以下の (7) 式が得られる。

【0054】

【数 7】

$$\cos \frac{2\pi(\Delta L_1 - \Delta L_2)\nu}{c} = - \frac{1 - 2^{2\frac{A+B}{10}} * 5^{\frac{A+B}{10}} + 10^{\frac{B}{10}}}{1 + 10^{\frac{B}{10}}} \dots (7)$$

$$\cos \frac{2\pi(\Delta L_1 + \Delta L_2)\nu}{c} = - \frac{1 - 2^{2\frac{A}{10}} * 5^{\frac{A}{10}} + 10^{\frac{B}{10}}}{1 + 10^{\frac{B}{10}}}$$

【0055】

なお、(7)式において、 $c / \{2(\Delta L_1 + \Delta L_2)\}$ は、 200×10^1 2 以上であることを要する。

【0056】

以下、(7)式に基づいてフィルタを制御した場合のフィルタスペクトル及びフィルタ平均挿入損失の変化について説明する。まず、フィルタの平均挿入損失を一定値に保った状態でフィルタ消光比を変化させた場合のフィルタスペクトルについて説明する。

【0057】

図4から図8は、フィルタ平均挿入損失を一定値3dBに保ちつつ、フィルタ消光比を、1、2、6、10、14dBと変化させた場合のフィルタスペクトルの変化を示す。但し、図4から図8において、C (Conventional) バンドの中心である $\nu = 194 \text{ THz}$ において所望のフィルタ平均挿入損失およびフィルタ消光比となるように、(7)式に基づいて ΔL_1 及び ΔL_2 を求めている。図4から図8に示すように、フィルタ消光比を大きくするに従って、スペクトルの振幅が大きくなるが、平均挿入損失は一定のままである、従って、本実施形態に係わる制御方法によれば、制御回路102は、(7)式に基づいて ΔL_1 及び ΔL_2 の値を設定する事により、フィルタ平均挿入損失を一定に保った状態でフィルタ消光比を変化させるようにマッハツェンダ干渉計型光フィルタを制御する事が可能である。

【0058】

次に、(7)式に基づいてフィルタ消光比Bを一定値に保った状態でフィルタ

平均挿入損失 A を変化させた場合のフィルタスペクトルについて説明する。

図 9 から図 13 は、フィルタ消光比 B を一定値 2 dB に保ちつつ、フィルタ平均挿入損失を、1、2、3、5、10 dB と変化させた場合のフィルタスペクトルの変化を示す。但し、図 4 から図 8 の場合と同様に、図 9 から図 13 においても、 $\nu = 194 \text{ THz}$ において所望のフィルタ平均挿入損失およびフィルタ消光比となるように、(7) 式に基づいて ΔL_1 及び ΔL_2 を求めている。また、光周波数範囲を 191 から 197 THz、 $\Delta \nu = 1 \text{ THz}$ とする。図 9 から図 13 に示すように、平均挿入平均挿入損失を変化させてもスペクトルの振幅が変化しないことから、フィルタ消光比は一定のままである、従って、本実施形態に係わる制御方法によれば、制御回路 102 は、(7) 式に基づいて ΔL_1 及び ΔL_2 の値を別々に設定する事により、フィルタ平均挿入損失を変化させてもフィルタ消光比を一定に保つようにマッハツェンダ干渉計型光フィルタを制御する事も可能である。

【0059】

故に、図 4 から図 13 から、制御回路 102 は、(7) 式に基づいて、マッハツェンダ干渉計型光フィルタのフィルタ平均挿入損失とフィルタ消光比とを独立して制御することが可能である事が分かる。但し、所望のフィルタ平均挿入損失およびフィルタ消光比となる周波数 ν (Hz) を予め設定する必要がある。

【0060】

また、本発明の制御方法を使用したマッハツェンダ干渉計型光フィルタを多段縦列接続することにより、平均挿入損失を一定値に保った状態で透過特性を制御することが可能な光利得等化器を構成できる。以下、第 2 実施形態として、上記光フィルタを用いた光利得等化器について説明する。図 14 に、第 2 実施形態に係わる光利得等化器の構成例を示す。

【0061】

図 14 に示すように、第 2 実施形態に係わる光利得等化器 120 は、FSR が互いに異なる複数の光フィルタから構成される。各光フィルタ 100 については、第 1 実施形態において既に説明した。光信号モニタ装置 121 は、光利得等化器 120 の後段に配置され、光利得等化器 120 から出力される信号光パワーレ

ベルをモニタする。制御回路 123 は、光利得等化器 120 から出力される信号光のパワーレベルを平坦化するように、光利得等化器 120 を構成する各光フィルタを制御する。

【0062】

より具体的には、制御回路 123 は、モニタ結果に基づいて光利得等化器 120 を構成する複数の光フィルタで合成する透過波長特性を決定し、フーリエ級数展開法を用いてその透過波長特性を展開することによって、各々の光フィルタの消光比と位相を算出する。さらに、制御回路 123 は、その算出結果と (7) 式に基づいて、各光フィルタを構成する複数のマッハツェンダ干渉計の光路長変化部における光路長変化量を決定する。そして、制御回路 123 は、決定された光路長変化量が得られるように、可変電圧源 (不図示) を用いて、各光路長変化部に備えられたヒータ又は電極等に供給する電力又は電圧を制御する。この際に、第 1 実施形態の場合と同様に、各光フィルタのフィルタ平均挿入損失とフィルタ消光比とを独立して制御することが可能である。従って、制御回路 123 は、上記光利得等化器 120 の透過波長特性と平均挿入損失を独立に制御する事が可能である。

【0063】

これにより、光利得等化器の透過特性を変化させるとその平均挿入損失も同時に変動するために、その光利得等化器の後段に配置される光増幅器の動作条件が変化してしまうという従来の問題は、解決される。

【0064】

上記第 2 実施形態に係わる光利得等化器を用いて光増幅器を構成することも可能である。以下、第 3 実施形態として、上記光利得等化器を用いた光増幅器について説明する。図 15 に、第 3 実施形態に係わる光増幅器の構成の一例を示す。

【0065】

図 15 に示すように、第 3 実施形態に係わる光増幅器は、第 1 の光増幅器 132-1 及び第 2 の光増幅器 132-2 を 2 段縦列に接続し、その間に第 2 実施形態に係わる光利得等化器 120 を配置するように構成される。また、光増幅器 132-1 の前段には、光分岐器 131-1 及び PD 135-1 が配置され、後段

には、光分岐器 131-2 及び PD 135-2 が配置される。同様に、光増幅器 132-2 の前段及び後段にも、光分岐器 (131-3、132-4) と PD (135-3、132-4) が 1 つずつ配置される。第 2 の光増幅器 132-2 の後段には、光分岐器 131-5、及び、第 2 の光増幅器 132-2 から出力される信号光のパワーレベルをモニタする光信号モニタ装置 122 が配置される。ここで、光利得等化器 120 の構成については、第 2 実施形態において既に説明した。

【0066】

第 3 実施形態でも、第 2 実施形態で説明したように、制御回路 123 は、光利得等化器 120 の透過波長特性と平均挿入損失とを互いに独立して制御することが可能である。また、制御回路 123 は、第 1 の光増幅器 132-1 及び第 2 の光増幅器 132-2 への入力パワーが変動する際にそのチルトが大幅に変動しないように、PD 135-1 及び 135-2、並びに、PD 135-3 及び 135-4 を用いて AGC 制御を行う。

【0067】

また、第 2 の光増幅器 132-2 から出力される信号光のパワーレベルは、光信号モニタ装置 122 によってモニタされる。PD 135-1 から 135-4 の制御に加えて、制御回路 123 は、増幅器から出力される信号光のパワーレベルを平坦化するために、第 2 の光増幅器 132-2 に入力する信号光のパワーレベルが一定になるように、そのモニタ結果に基づいて光利得等化器 120 の平均挿入損失を制御する。

【0068】

このように、第 3 実施形態に係わる光増幅器によれば、増幅された信号光のパワーを光増幅器内の光利得等化器 120 にフィードバックすることにより、制御回路 123 は、信号光のパワーの経時変動等に対して追従するように光増幅器を制御する事ができる。

【0069】

従って、第 3 実施形態に係わる光増幅器によれば、光利得等化器 120 を用いて光増幅器から出力される信号光のパワーレベルの平坦化を行う事ができる。故

に、図 27 に示す従来の光増幅器では光利得等化器 120 の後段に、第 1 の光増幅器 32-1 の入力パワーが変動した際に第 2 の光増幅器 32-2 の入力パワーが一定になるように VOA 34 が配置されていたが、図 15 に示す第 3 実施形態に係わる光増幅器では、その VOA は不要となる。

【0070】

次に、第 3 実施形態の変形例として、別の光増幅器の構成例について説明する。図 16 に、第 3 実施形態の変形例に係わる光増幅器の構成例を示す。図 15 に示す光増幅器と同様に、図 16 に示す光増幅器も、第 1 の光増幅器 132-1 及び第 2 の光増幅器 132-2 を 2 段縦列に接続し、その間に光利得等化器 120 を配置するように構成される。光利得等化器 120 の構成については、第 2 実施形態において既に説明した。

【0071】

上記のように、第 3 実施形態によれば、光増幅器によって増幅された信号光のパワーを光増幅器にフィードバックすることにより、制御回路 123 は、信号光のパワーの変動に追従するように光増幅器を制御する。ここで、フィードバック制御を行う場合、光増幅器 132-1 及び 132-2 のチルトをダイナミックに補償する事ができるために AGC 制御を行う必要はなく、出力一定制御 (APC : Auto Power Control) する事としても問題がない。そこで、第 3 実施形態の変形例にかかわる光増幅器によれば、光増幅器 132-1 及び 132-2 を APC 制御する事により、図 15 で第 1 の光増幅器 132-1 の前段及び第 2 の光増幅器 132-2 の前段にそれぞれ配置されていた PD 及び光分岐器を不要とする。

【0072】

このように、この変形例によれば、VOA、並びに、2つのPD及び2つの光分岐器を省略した、より簡素な構成を有する光増幅器を実現することが可能となる。

【0073】

次に、第 3 実施形態の更なる変形例として、更なる別の光増幅器の構成例について説明する。レベルダイア等の観点から、光利得等化器の挿入位置は、2つの光増幅器の間であることが理想的であるが、2つの光増幅器の前段又は後段とす

る事も可能である。図17及び図18に、第3実施形態の更なる変形例に係わる光増幅器の構成例を示す。図17に示す光増幅器によれば、第1の光増幅器132-1及び第2の光増幅器132-2を2段縦列に接続する。そして、光利得等化器120を、2つの光増幅器の間ではなく、第1の光増幅器132-1の前段に配置する。また、図18に示す光増幅器によれば、2段縦列に接続された2つの第1の光増幅器132-1及び132-2の後段に、光利得等化器120を配置する。光利得等化器120の構成については、第2実施形態において既に説明した。

【0074】

但し、図17に示すように光利得等化器120を第1の増幅器132-1の前段に挿入すると、第1の光増幅器132-1へ入力する信号光のパワーが大幅に減少するために、信号光OSNR (Optical Signal to Noise Ratio) の劣化が生じる。これにより、伝送距離が制限されてしまう可能性がある。また、図18に示すように光利得等化器120を第2の増幅器132-2の後段に挿入すると、第2の光増幅器132-2の最大出力パワーが決まっているために、伝送路へ入力する信号光のパワーが大幅に減少する。これによっても信号光OSNR (Optical Signal to Noise Ratio) の劣化しうるため、伝送距離が制限されてしまう可能性がある。

【0075】

次に、第4実施形態として、第2実施形態に係わる光利得等化器を用いた光伝送システムの構成について説明する。図19に、第4実施形態に係わる光伝送システムの構成例を示す。図19に示す光伝送システムは、信号光の送信元である光送信装置151から受信先である光受信装置152までの各中継区間に配置される増幅器132-1から132-n (nは自然数) の後段に、第2実施形態に係わる光利得等化器120-1から120-nを配置する。そして、各光利得等化器120-1から120-nは、各々の光増幅器132-1から132-nのチルトを補償するように制御される。これにより、伝送システムにおける信号光パワー偏差の累積を防ぎ、延いては伝送距離の延長を可能とする。

【0076】

次に、第4実施形態の変形例として、第3実施形態に係わる光増幅器を用いた光伝送システムの構成について説明する。図20に、第4実施形態の変形例に係わる光伝送システムの構成例を示す。図20に示す光伝送システムは、信号光の送信元である光送信装置151から受信先である光受信装置152までの中継区間に、第3実施形態又はその変形例に係わる光増幅器を配置する。第3実施形態において説明したように、各光増幅器から出力される信号光のパワーは一定になるように制御される。従って、伝送システムにおいて多数の光増幅器を縦列接続することによって累積する信号光パワー偏差を低減し、延いては伝送距離を延長することを可能とする。

【0077】

以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は上述した実施形態及び変形例に限定されるものではなく、その他の様々な変更が可能である。

(付記1) 光フィルタであって、

第1、第2及び第3のマッハツェンダ干渉計と、

前記第1及び第2のマッハツェンダ干渉計の光路長を変化させる第1及び第2の光路長変化手段と、

第1の光路長変化手段及び第2の光路長変化手段を用いて前記光フィルタのフィルタ消光比を制御する制御手段とを備え、

前記制御手段は、前記第1の光路長変化手段による光路長の変化量と前記第2の光路長変化手段による光路長の変化量とを前記光フィルタのフィルタ平均挿入損失、前記フィルタ消光比、並びに前記第1及び第2の光路長変化手段による前記光路長の変化量とが所定の関係を満たすように設定する、

ことを特徴とする光フィルタ。

【0078】

(付記2) 前記所定の関係を示す第1の式は、

導波路端での信号光の出力強度を示す第2の式から得られた、フィルタ平均挿入損失と前記第1及び第2の光路長変化手段による前記光路長の変化量との関係を示す第3の式と、

前記第2の式から得られた、フィルタ消光比と前記第1及び第2の光路長変化

手段による前記光路長の変化量との関係を示す第4の式とを、

連立して解くことにより得られる、

ことを特徴とする付記1に記載の光フィルタ。

【0079】

(付記3) 前記制御装置は、前記関係に基づいて、前記光フィルタのフィルタ平均挿入損失を一定値に保ちながら前記フィルタ消光比を変化させるように、前記第1及び第2の光路長変化手段による前記光路長の変化量を設定する、

ことを特徴とする付記1に記載の光フィルタ。

【0080】

(付記4) 前記制御装置は、前記関係に基づいて、前記光フィルタのフィルタ消光比を一定値に保ちながら前記フィルタ平均挿入損失を変化させるように、前記第1及び第2の光路長変化手段による前記光路長の変化量を設定する、

ことを特徴とする付記1に記載の光フィルタ。

【0081】

(付記5) 前記制御装置は、前記関係に基づいて前記第1及び第2の光路長変化手段による前記光路長の変化量を設定することにより、前記光フィルタのフィルタ消光比と前記フィルタ平均挿入損失とを互いに独立させて制御する、

ことを特徴とする付記1に記載の光フィルタ。

【0082】

(付記6) 前記第1及び第2の光路長変化手段は、熱光学効果を用いて前記光路長を変化させる、

ことを特徴とする付記1に記載の光フィルタ。

【0083】

(付記7) 前記第1及び第2の光路長変化手段は、電気光学効果を用いて前記光路長を変化させる、

ことを特徴とする付記1に記載の光フィルタ。

【0084】

(付記8) 前記光フィルタは、光利得等化器に用いられることを特徴とする付記1に記載の光フィルタ。

(付記 9) 光フィルタを制御する制御装置であって、
前記光フィルタは、
第 1、第 2 及び第 3 のマッハツェンダ干渉計と、
前記制御装置は、前記フィルタのフィルタ消光比を制御する際に、互いに独立して前記第 1 及び第 2 の光路長変化手段による光路長の変化量を別個に設定すること、
ことを特徴とする制御装置。

【0085】

(付記 10) 複数の光フィルタを連結して構成される光利得等化器であって、
各光フィルタは、
第 1、第 2 及び第 3 のマッハツェンダ干渉計と、
前記光フィルタのフィルタ消光比を制御するために、互いに個別に、前記第 1 及び第 2 のマッハツェンダ干渉計の光路長を変化させる第 1 及び第 2 の光路長変化手段とを備える、
ことを特徴とする光利得等化器。

【0086】

(付記 11) 光伝送システムの中継区間に配置される光増幅器の後段に配置される、
ことを特徴とする付記 10 に記載の光利得等化器。

【0087】

(付記 12) 光増幅器であって、
第 1 の光増幅手段と、
前記第 1 の光増幅手段の後段に配置された第 2 の光増幅手段と、
前記第 2 の光増幅手段から出力される信号光の出力パワーレベルをモニタする光信号モニタ手段と、
複数のマッハツェンダ干渉計型光フィルタを連結して構成され、前記出力パワーレベルのモニタ結果がフィードバックされる光利得等化器とを備え、
各マッハツェンダ干渉計型光フィルタは、

第1、第2及び第3のマッハツェンダ干渉計と、

前記光フィルタのフィルタ消光比を制御するために、互いに個別に、前記第1及び第2のマッハツェンダ干渉計の光路長を変化させる第1及び第2の光路長変化手段とを備え、

前記信号光の前記出力パワーレベルを平坦化するように、前記光利得等化器の平均挿入損失は、各マッハツェンダ干渉計型フィルタの第1及び第2の光路長変化手段を用いて制御される、

ことを特徴とする光増幅器。

【0088】

(付記13) 前記光利得等化器は、前記第1及び第2の光増幅手段の間に配置される、

ことを特徴とする付記12に記載の光増幅器。

【0089】

(付記14) 前記光利得等化器は、前記第1の光増幅手段の前段に配置される、

ことを特徴とする付記12に記載の光増幅器。

【0090】

(付記15) 前記光利得等化器は、前記第2の光増幅手段と前記光信号も似た手段の間に配置される、

ことを特徴とする付記12に記載の光増幅器。

【0091】

(付記16) 各光増幅手段の前段及び後段のそれぞれに、各光増幅手段を利得一定制御する光分岐器及びフォトダイオードを更に備える、

ことを特徴とする付記12に記載の光増幅器。

【0092】

(付記17) 各光増幅手段の後段に、各光増幅手段を出力一定制御する光分岐器及びフォトダイオードを更に備える、

ことを特徴とする付記12に記載の光増幅器。

【0093】

(付記 18) 光伝送システムの中継区間に配置されることを特徴とする付記 12 に記載の光増幅器。

(付記 19) 光フィルタの制御方法であって、
前記光フィルタは、
縦列接続された第 1、第 2 及び第 3 のマッハツェンダ干渉計と、
前記光フィルタのフィルタ消光比を制御するために前記第 1 及び第 2 のマッハツェンダ干渉計の光路長を変化させる第 1 及び第 2 の光路長変化手段とを備え、
前記第 1 の光路長変化手段による光路長の変化量と前記第 2 の光路長変化手段による光路長の変化量とを、前記光フィルタのフィルタ平均挿入損失、前記フィルタ消光比、並びに前記第 1 及び第 2 の光路長変化手段による前記光路長の変化量とが所定の関係を満たすように設定する、
ことを含むことを特徴とする光フィルタの制御方法。

【0094】

【発明の効果】

以上詳細に説明したように、本発明によれば、3つのマッハツェンダ干渉計を縦列接続することにより構成される光フィルタにおいて、光フィルタのフィルタ消光比を制御するための2つの光路長変化部に与える光路長変化量を、上記光フィルタのフィルタ平均挿入損失、上記フィルタ消光比、並びに2つの光路長変化部に与える光路長変化量との関係を示す式に基づいて設定するように構成する。これにより、光フィルタの正弦波状の透過特性を維持しながらも、フィルタ消光比を制御するための2つの光路長変化手段に異なる光路長変化量を与えることが可能となる。延いては、光フィルタのフィルタ消光比を制御する際に、フィルタ平均挿入損失も変動してしまうという問題を解決することが可能となる。

【0095】

また、上記構成を有する光フィルタを複数接続することにより光利得等化器を構成することにより、透過波長特性と平均挿入損失を独立に制御することが可能な光利得等化器を提供する事が可能となる。延いては、光利得等化器の透過特性を変化させると平均挿入損失も変動してしまうために、後段に配置された光増幅器の動作条件が変化してしまうという問題を解決することが可能となる。

【0096】

また、上記構成を有する光利得等化器を光伝送システムの中継区間に配置する事により、信号光の ONSR を改善し、伝送距離を延長させる事が可能となる。

また、上記構成を有する光利得等化器と、光増幅器から出力される信号光パワーレベルをモニタして光増幅器にフードバックする光信号モニタ装置を備える増幅器において、光利得等化器はモニタ結果に基づいて光増幅器から出力される信号光のパワーレベルを平坦化させるように制御されるように構成することにより、従来、光増幅器に必要であった VOA を不要とすることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

マッハツェンダ干渉計型光フィルタの原理構成図である。

【図 2】

第 1 実施形態に係わる光フィルタの構成例を示す図（その 1）である。

【図 3】

第 1 実施形態に係わる光フィルタの構成例を示す図（その 2）である。

【図 4】

第 1 実施形態に係わる光フィルタのフィルタスペクトルの一例を示す図（その 1）である。

【図 5】

第 1 実施形態に係わる光フィルタのフィルタスペクトルの一例を示す図（その 2）である。

【図 6】

第 1 実施形態に係わる光フィルタのフィルタスペクトルの一例を示す図（その 3）である。

【図 7】

第 1 実施形態に係わる光フィルタのフィルタスペクトルの一例を示す図（その 4）である。

【図 8】

第 1 実施形態に係わる光フィルタのフィルタスペクトルの一例を示す図（その

5) である。

【図 9】

第 1 実施形態に係わる光フィルタのフィルタスペクトルの一例を示す図（その 6）である。

【図 1 0】

第 1 実施形態に係わる光フィルタのフィルタスペクトルの一例を示す図（その 7）である。

【図 1 1】

第 1 実施形態に係わる光フィルタのフィルタスペクトルの一例を示す図（その 8）である。

【図 1 2】

第 1 実施形態に係わる光フィルタのフィルタスペクトルの一例を示す図（その 9）である。

【図 1 3】

第 1 実施形態に係わる光フィルタのフィルタスペクトルの一例を示す図（その 1 0）である。

【図 1 4】

第 2 実施形態に係わる光利得等化器の構成例を示す図である。

【図 1 5】

第 3 実施形態に係わる光増幅器の構成例を示す図（その 1）である。

【図 1 6】

第 3 実施形態に係わる光増幅器の構成例を示す図（その 2）である。

【図 1 7】

第 3 実施形態に係わる光増幅器の構成例を示す図（その 3）である。

【図 1 8】

第 3 実施形態に係わる光増幅器の構成例を示す図（その 4）である。

【図 1 9】

第 4 実施形態に係わる光伝送システムの構成例を示す図（その 1）である。

【図 2 0】

第4実施形態に係わる光伝送システムの構成例を示す図（その2）である。

【図21】

従来技術における光フィルタのフィルタスペクトルの例を示す図（その1）である。

【図22】

従来技術における光フィルタのフィルタスペクトルの例を示す図（その2）である。

【図23】

従来技術における光フィルタのフィルタスペクトルの例を示す図（その3）である。

【図24】

従来技術における光フィルタのフィルタスペクトルの例を示す図（その4）である。

【図25】

従来技術における光フィルタのフィルタスペクトルの例を示す図（その5）である。

【図26】

光利得等化器の構成例を示す図である。

【図27】

従来技術における光増幅器の構成例を示す図である。

【符号の説明】

- 11、12、13 光路長変化部
- 21 入力側光ファイバ
- 22 出力側光ファイバ
- 100 マツハツェンダ干渉計型光フィルタ
- 101 駆動装置
- 102 制御回路
- 103、104 A/Dコンバータ
- 105 D/Aコンバータ

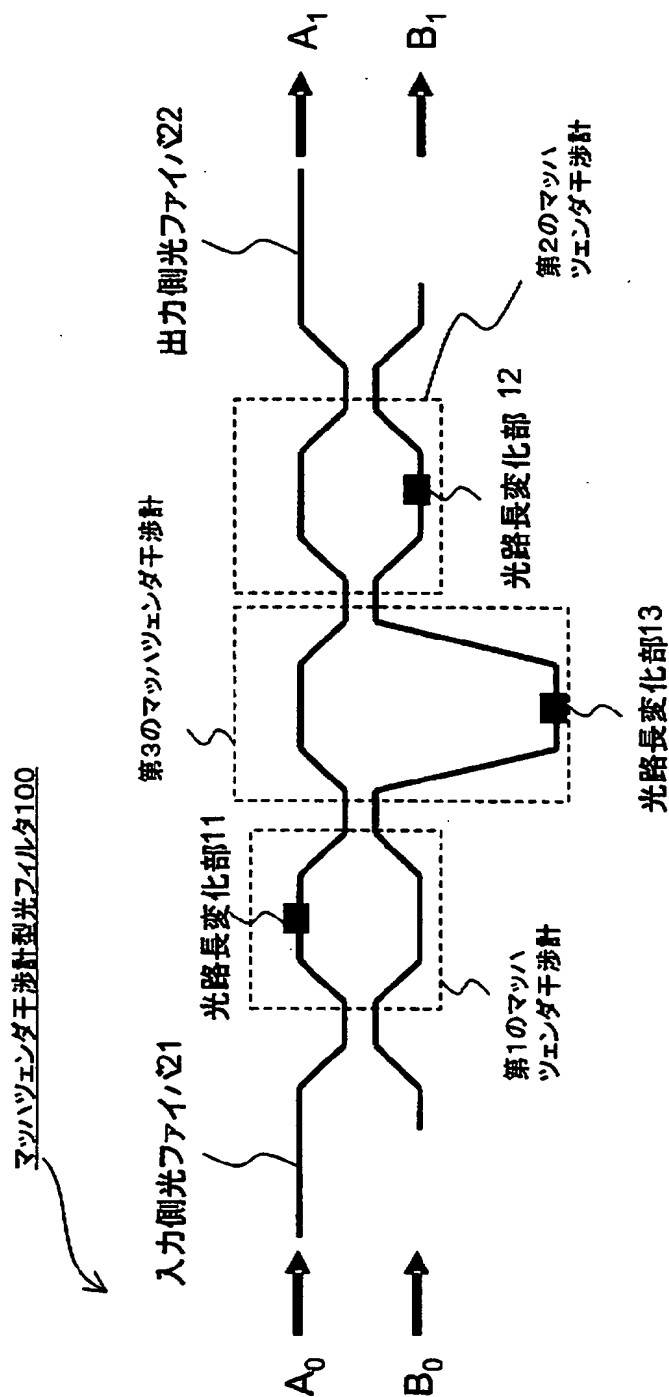
- 1 0 6 電圧計
- 1 0 7 電流計
- 1 0 8 可変電圧源
- 1 0 9 ヒータ
- 1 1 0 電極
- 1 1 1 導波路
- 1 1 2 Y分岐
- 1 1 3 バッファ層
- 1 2 0、1 2 0 - 1、1 2 0 - 2、1 2 0 - n
光利得等化器
- 1 2 2 光信号モニタ装置
- 1 2 3、1 3 6 制御回路
- 1 3 1、1 3 1 - 1、1 3 1 - 2、1 3 1 - 3、1 3 1 - 4、1 3 1 - 5
光分岐器
- 1 3 2 - 1、1 3 2 - 2、1 3 2 - 3、1 3 2 - n
光増幅器
- 1 3 5 - 1、1 3 5 - 2、1 3 5 - 3、1 3 5 - 4
フォトダイオード
- 1 5 1 光送信装置
- 1 5 2 光受信装置

【書類名】

図面

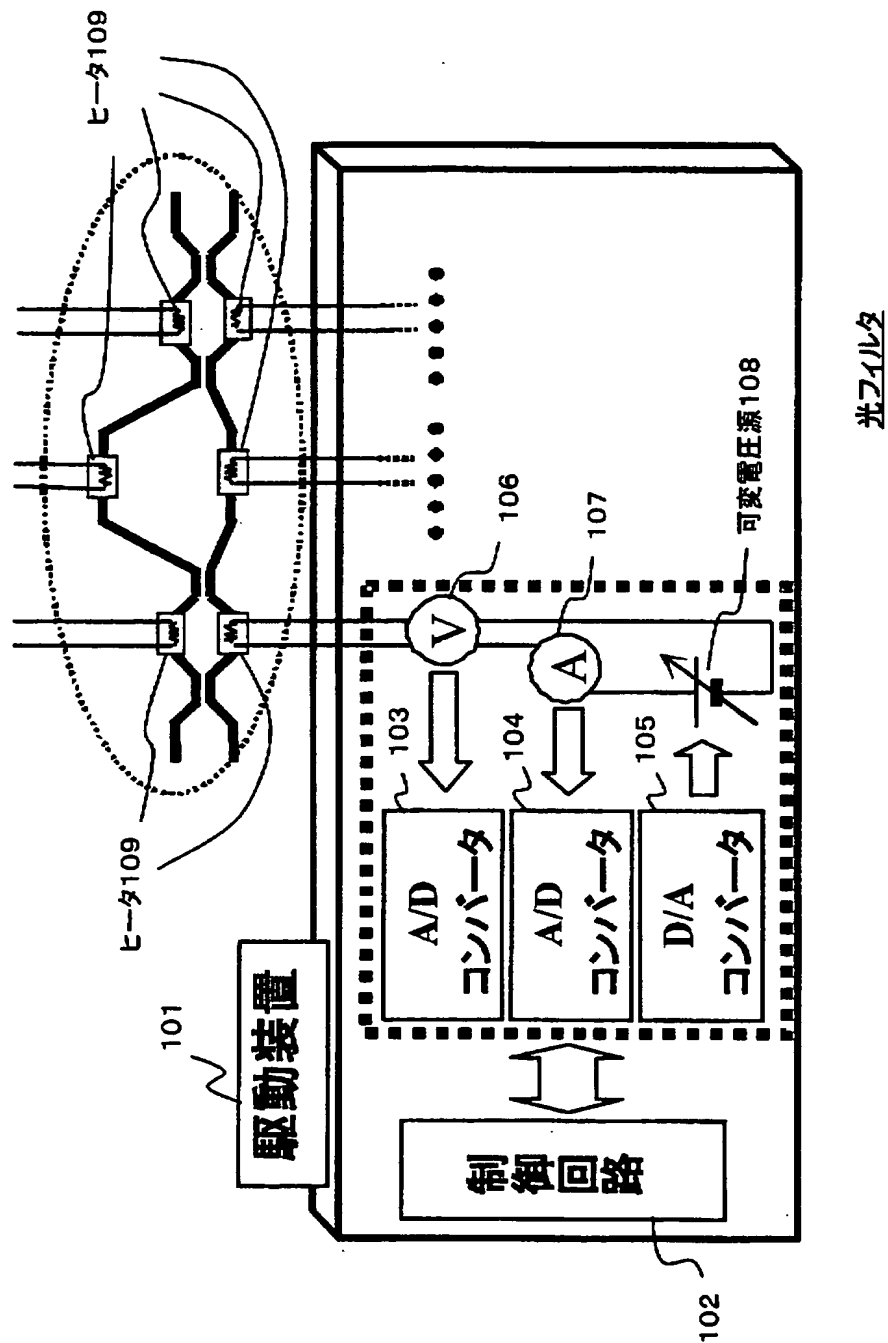
【図 1】

マッハツェンダ干渉計型光フィルタの原理構成図



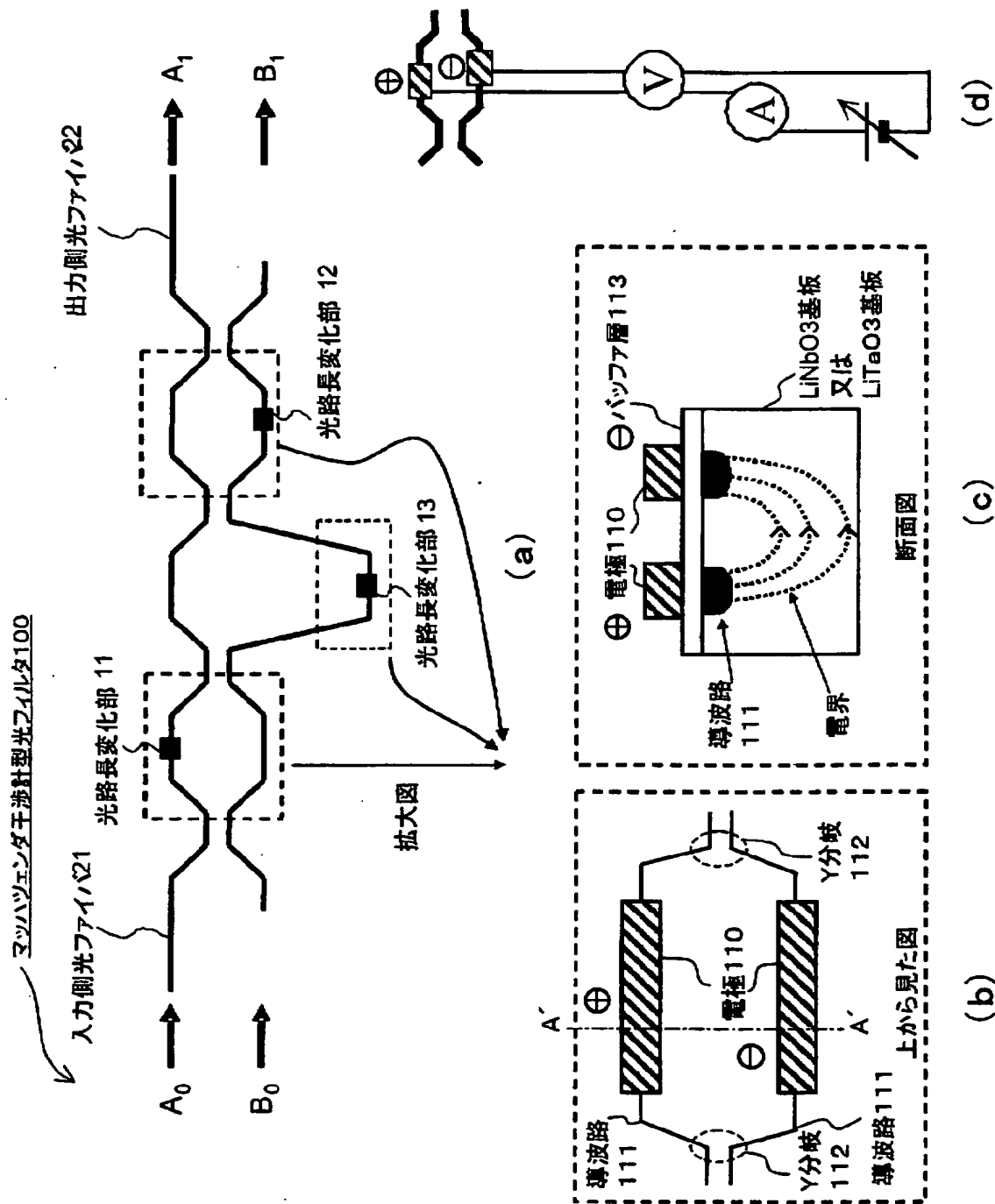
【図2】

第1実施形態に係わる光フィルタの
構成例を示す図(その1)



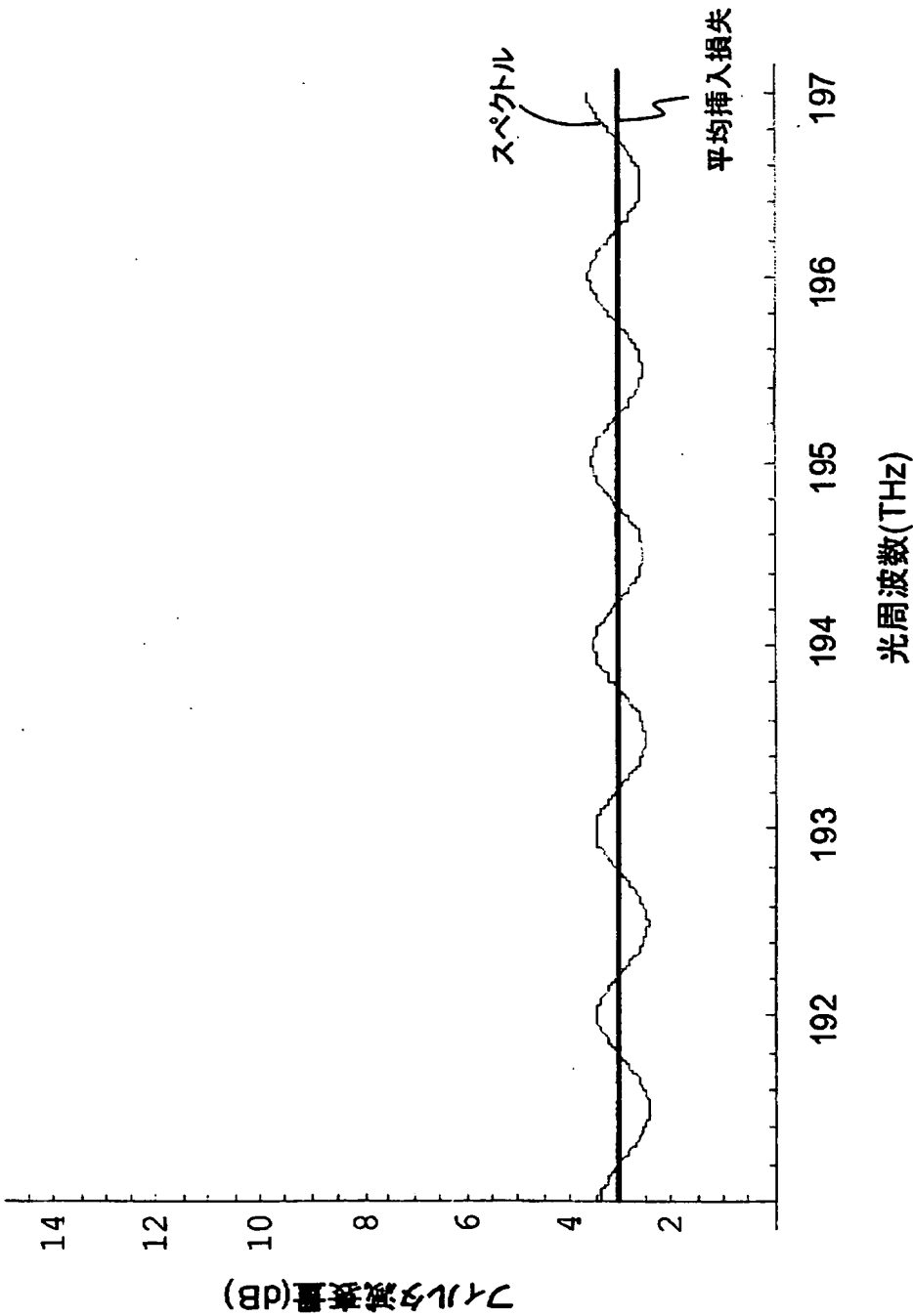
【図3】

第1実施形態に係わる光フィルタの構成例を示す図(その2)



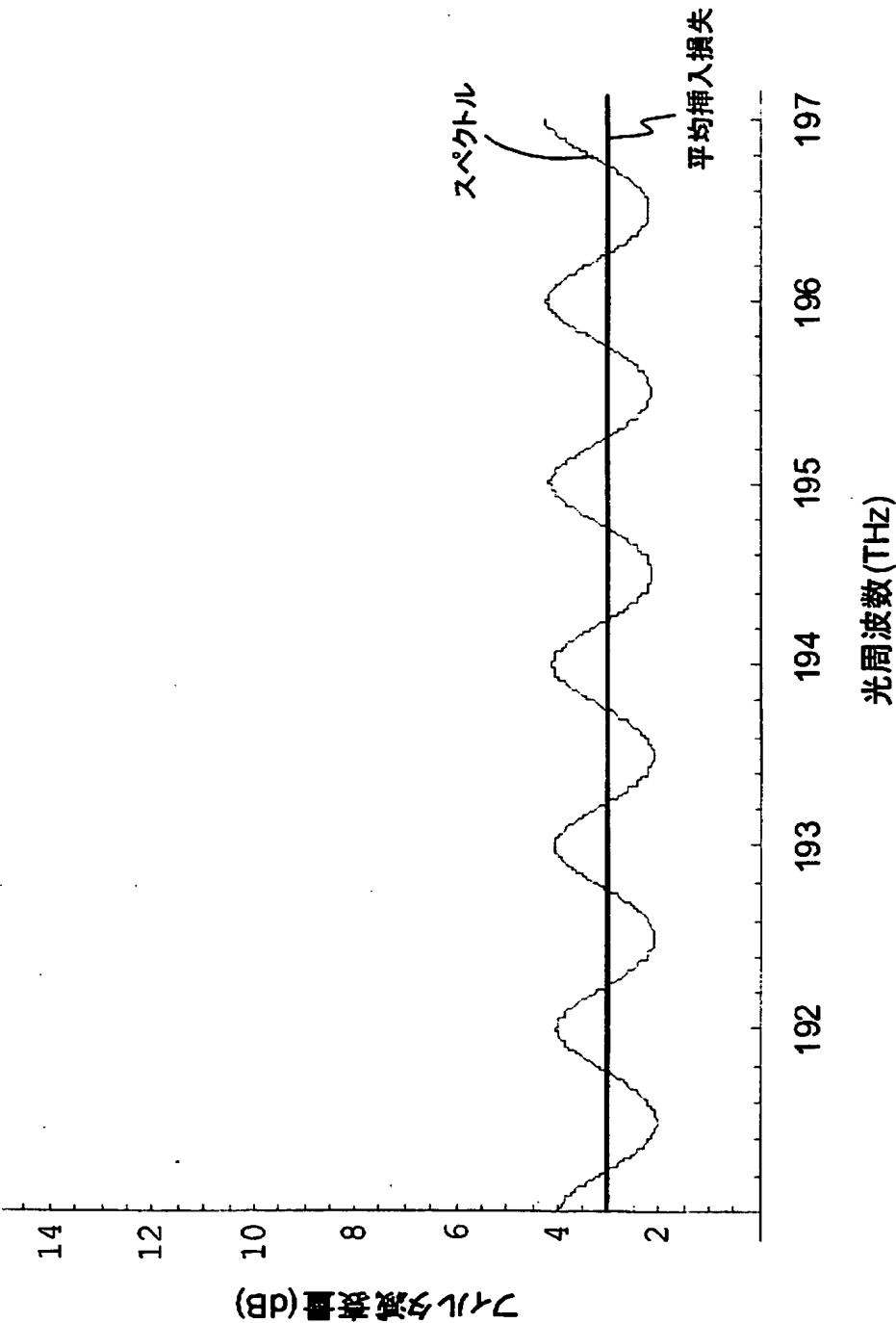
【図 4】

第1実施形態に係わる光フィルタの
フィルタスペクトルの一例を示す図(その1)



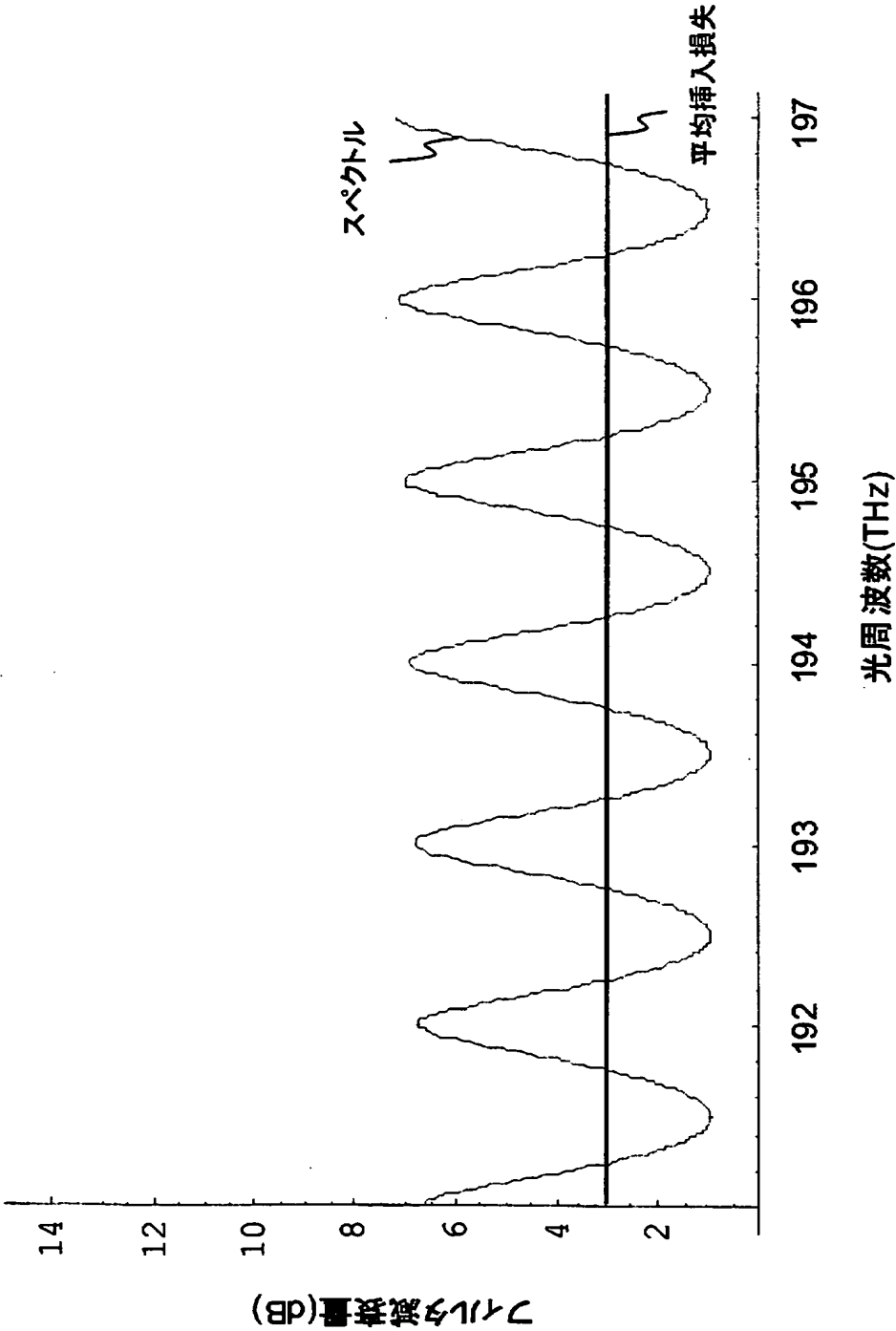
【図 5】

第1実施形態に係わる光フィルタの
フィルタスペクトルの一例を示す図(その2)



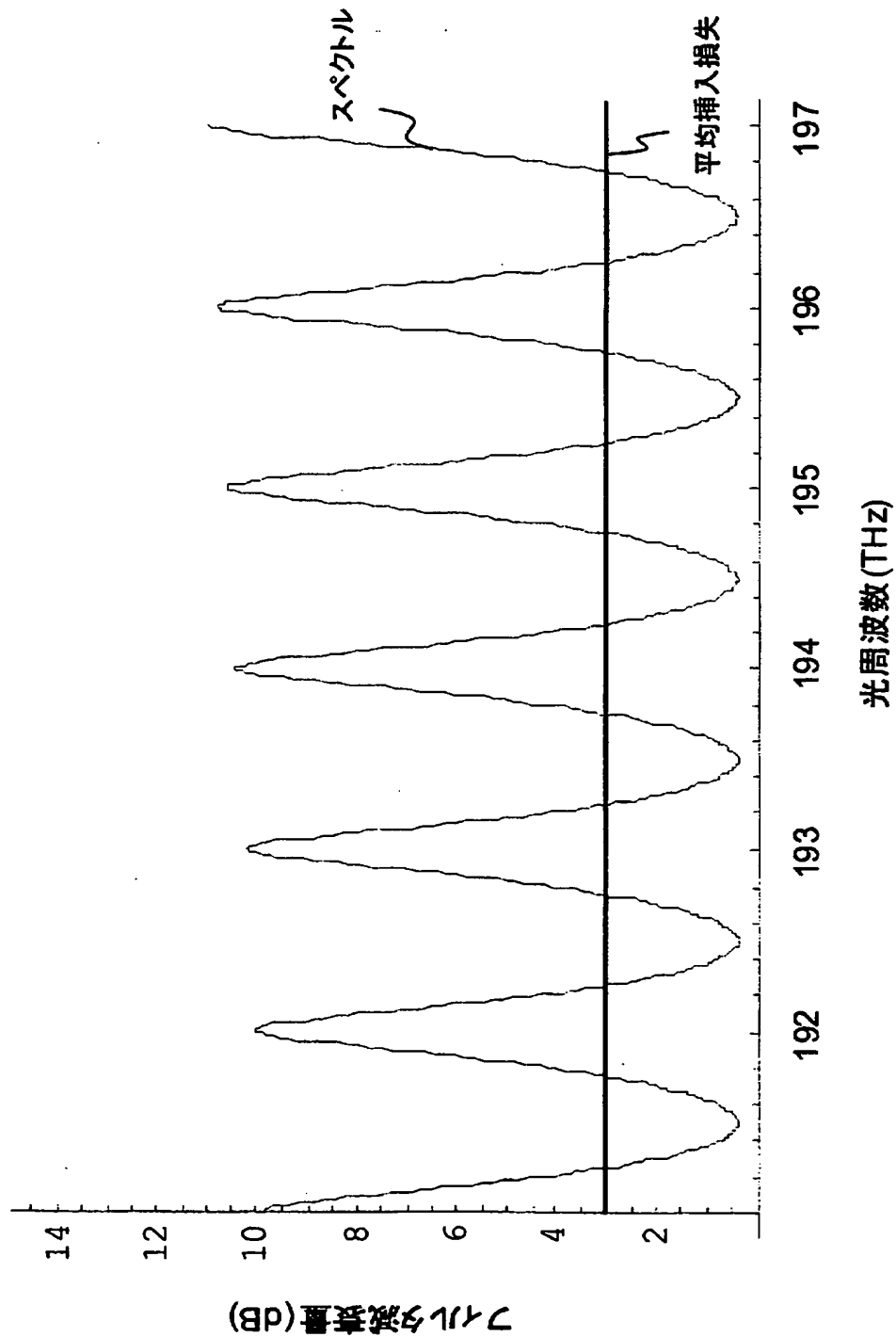
【図 6】

第1実施形態に係わる光フィルタの
フィルタスペクトルの一例を示す図(その3)



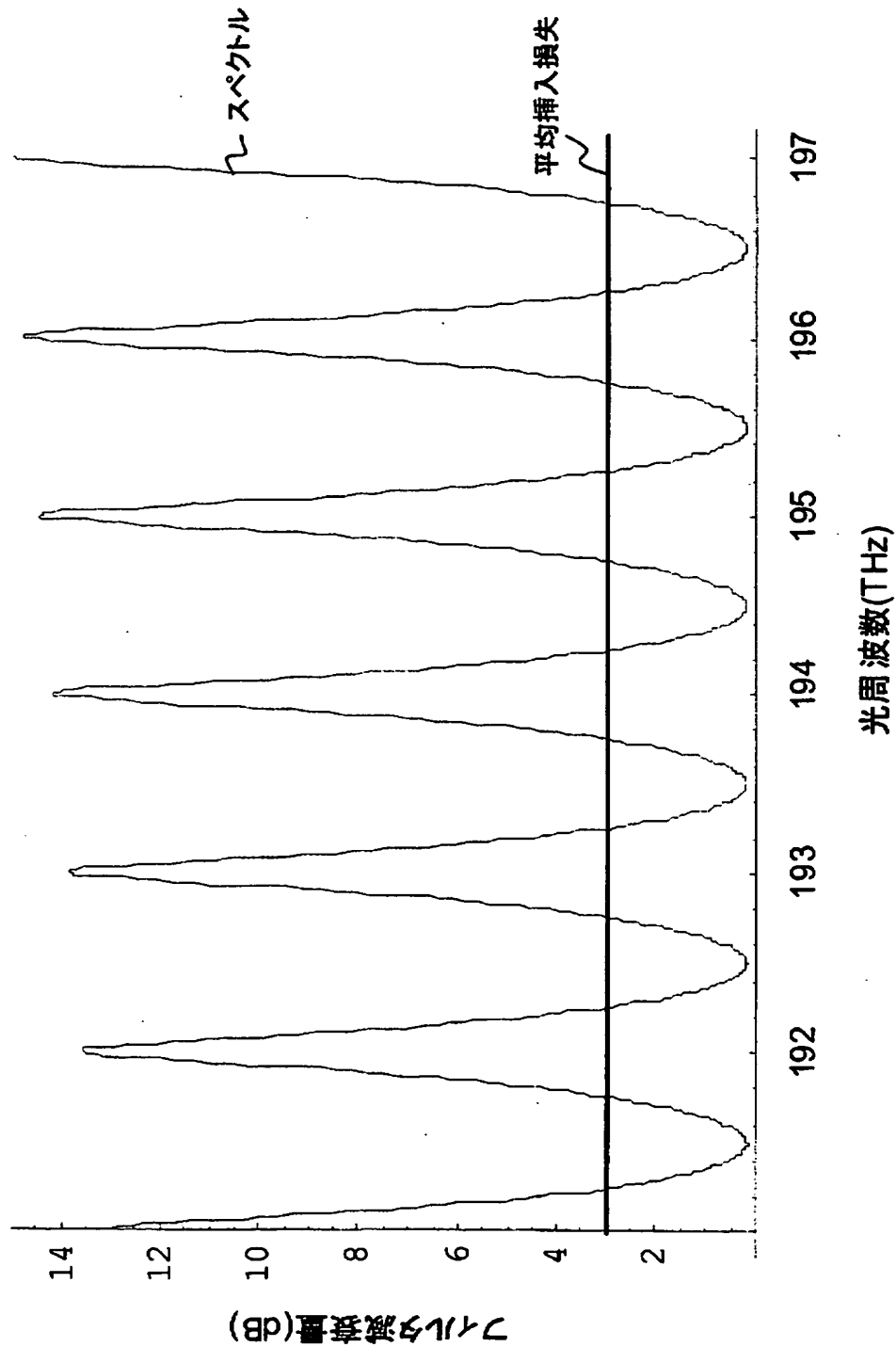
【図 7】

第1実施形態に係わる光フィルタの
フィルタスペクトルの一例を示す図(その4)



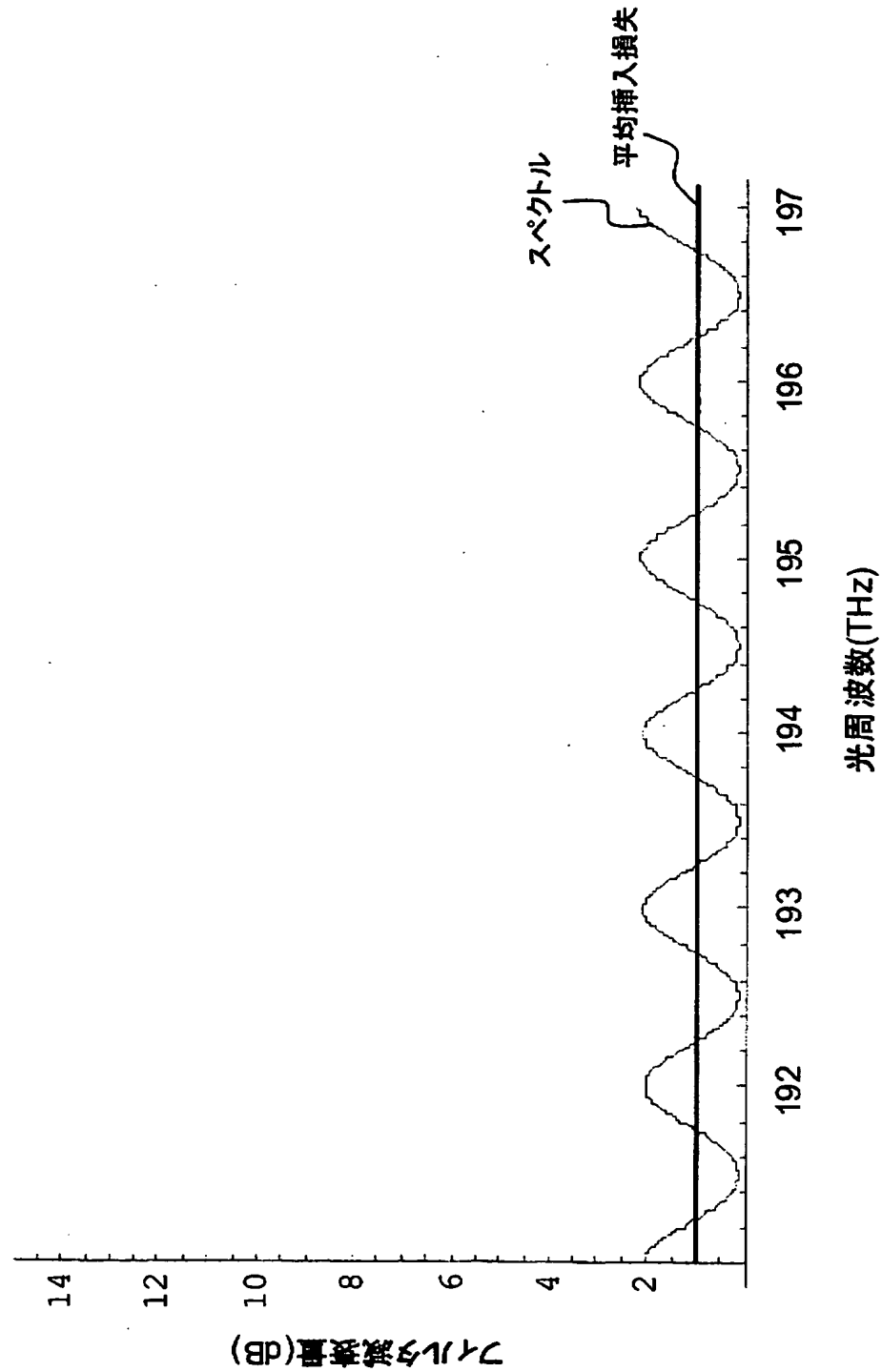
【図 8】

第1実施形態に係わる光フィルタの
フィルタスペクトルの一例を示す図(その5)



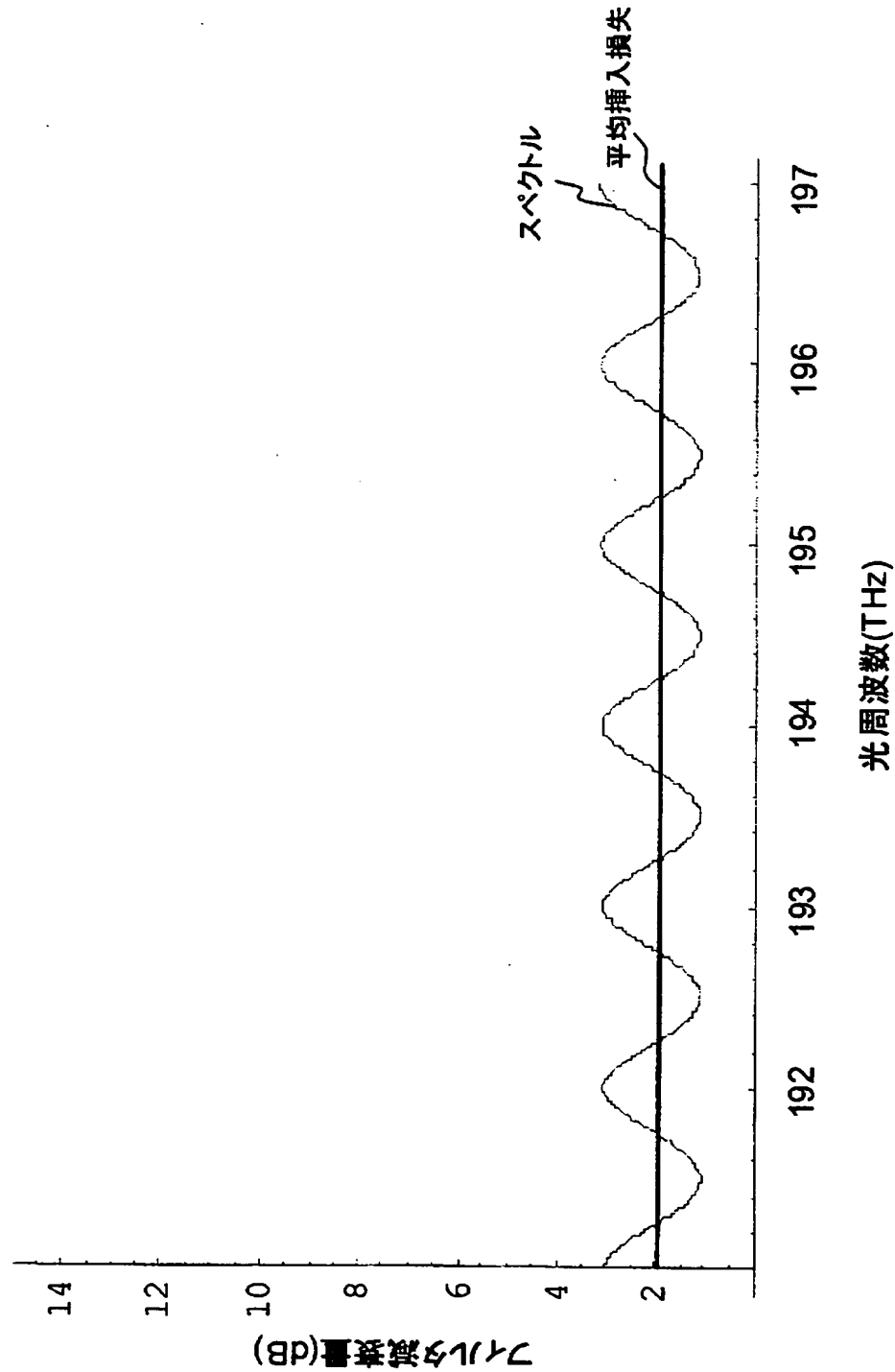
【図 9】

第1実施形態に係わる光フィルタの
フィルタスペクトルの一例を示す図(その6)



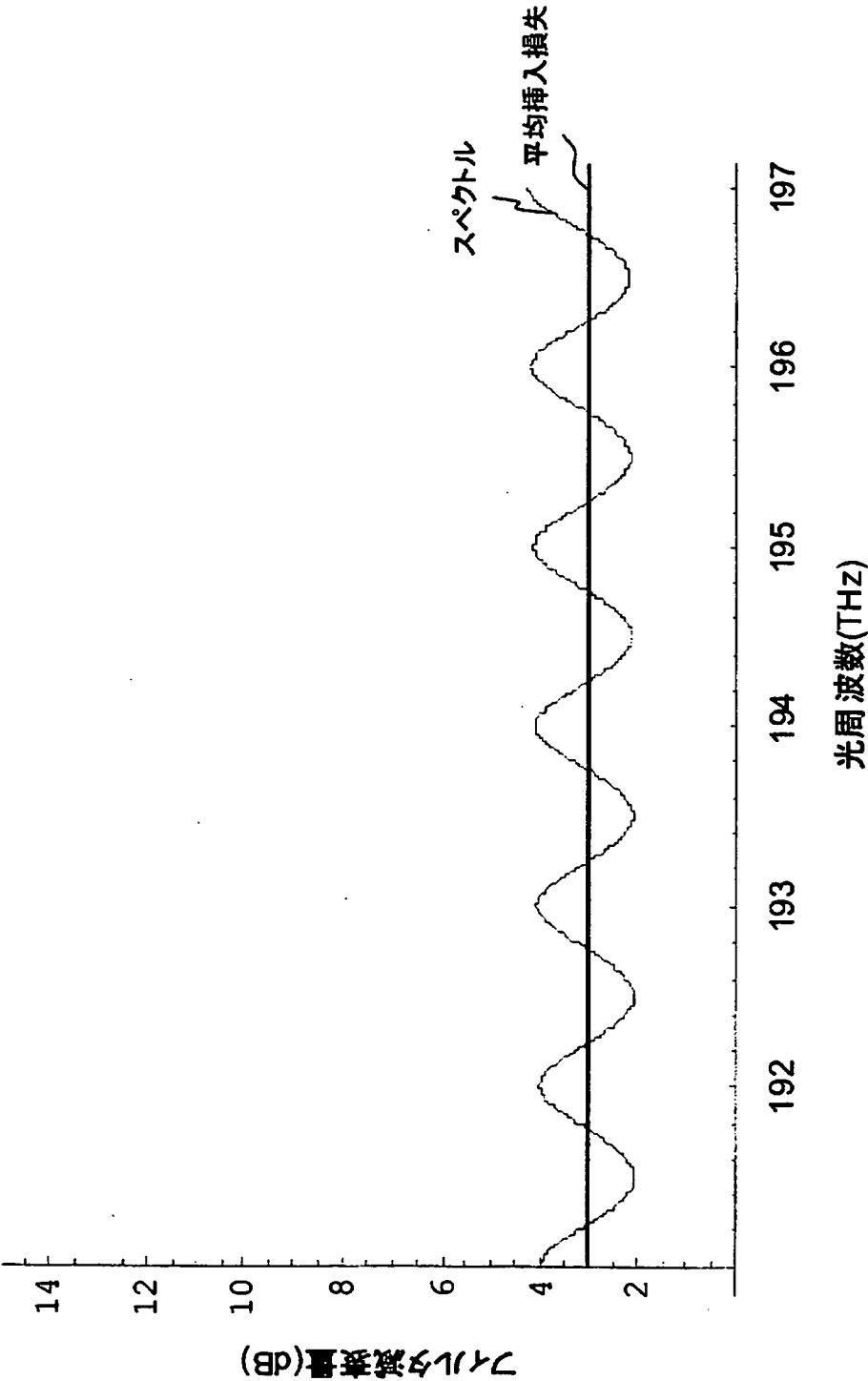
【図 10】

第1実施形態に係わる光フィルタの
フィルタスペクトルの一例を示す図(その7)



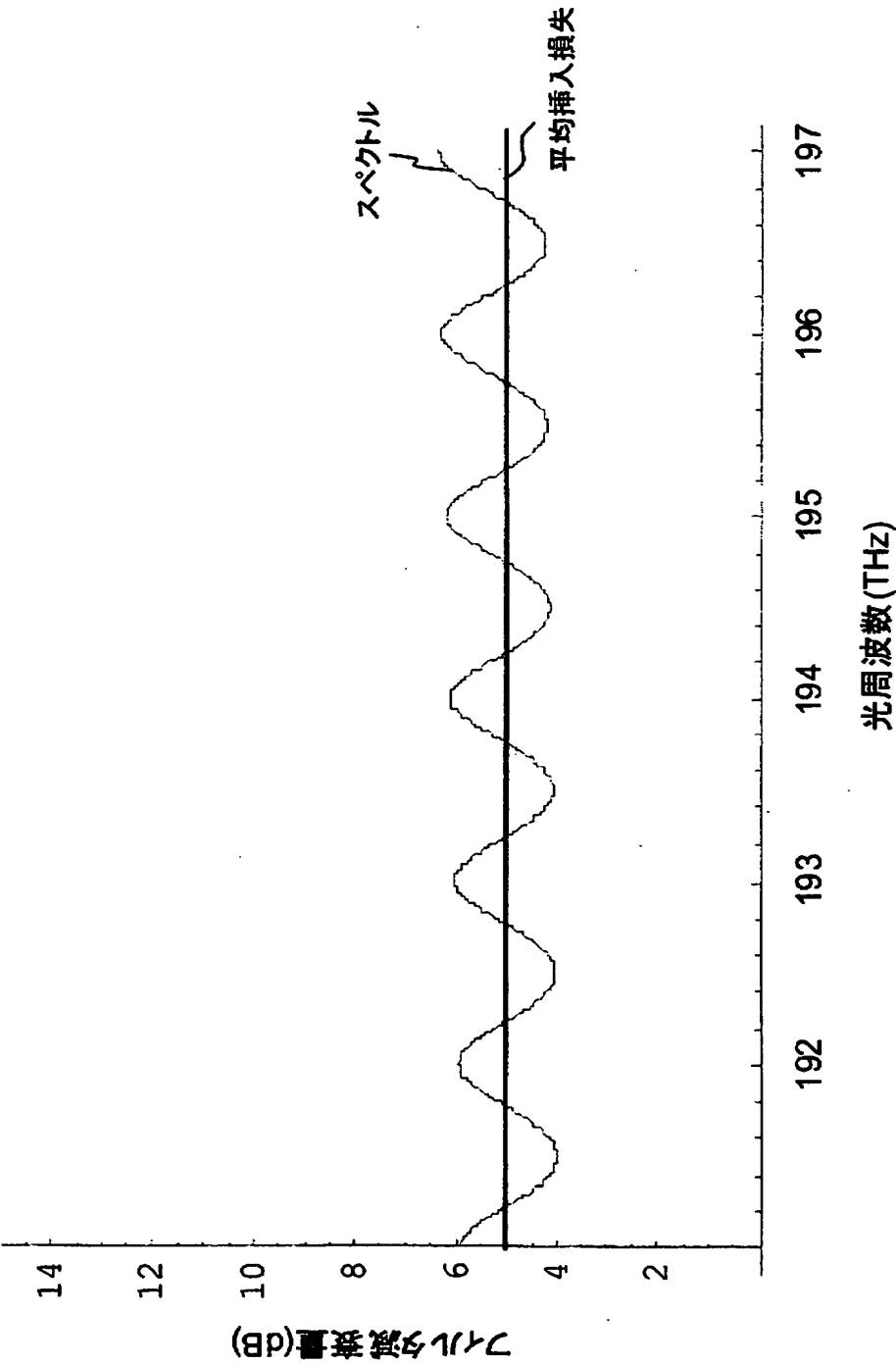
【図 11】

第1実施形態に係わる光フィルタの
フィルタスペクトルの一例を示す図(その8)



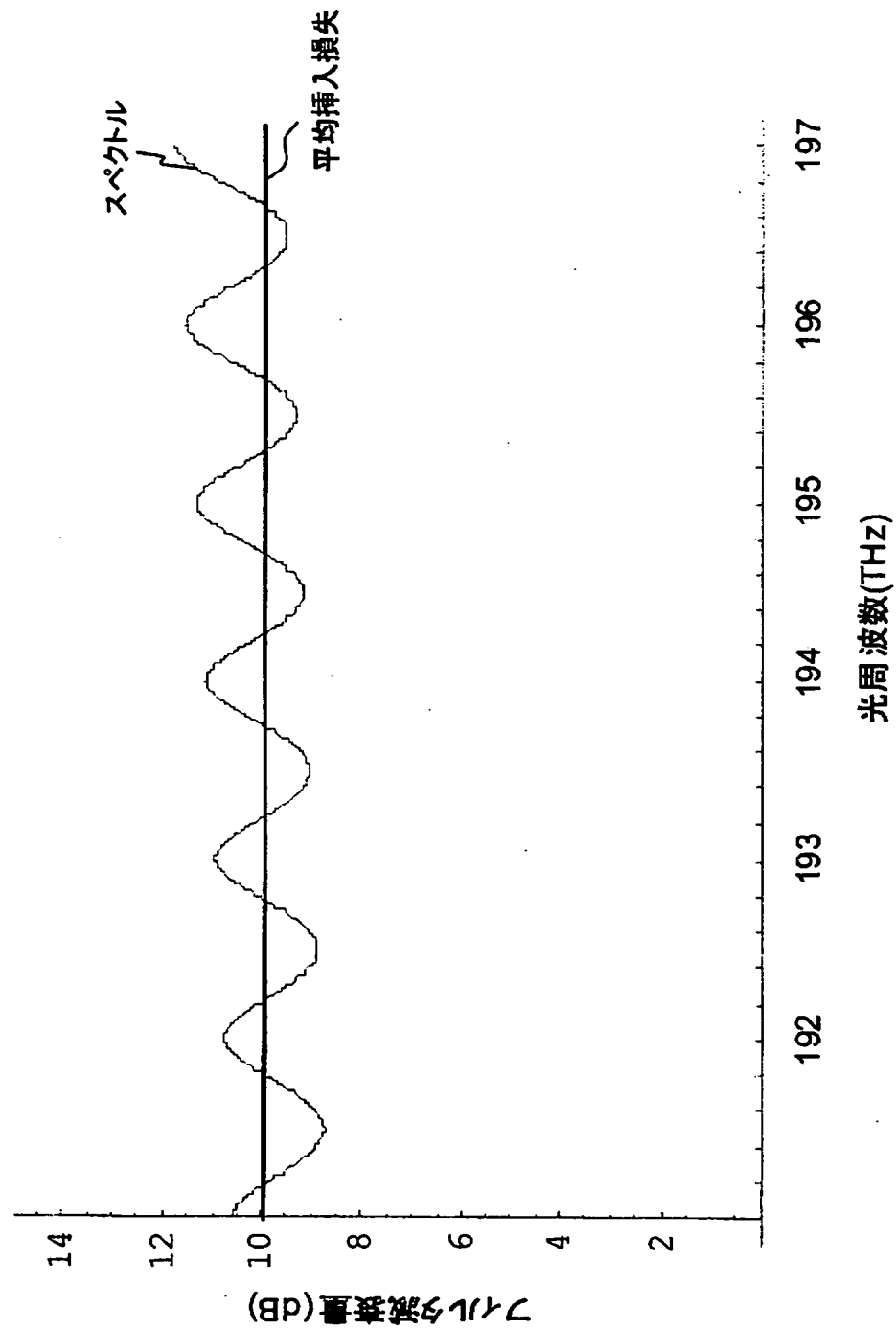
【図 12】

第1実施形態に係わる光フィルタの
フィルタスペクトルの一例を示す図(その9)



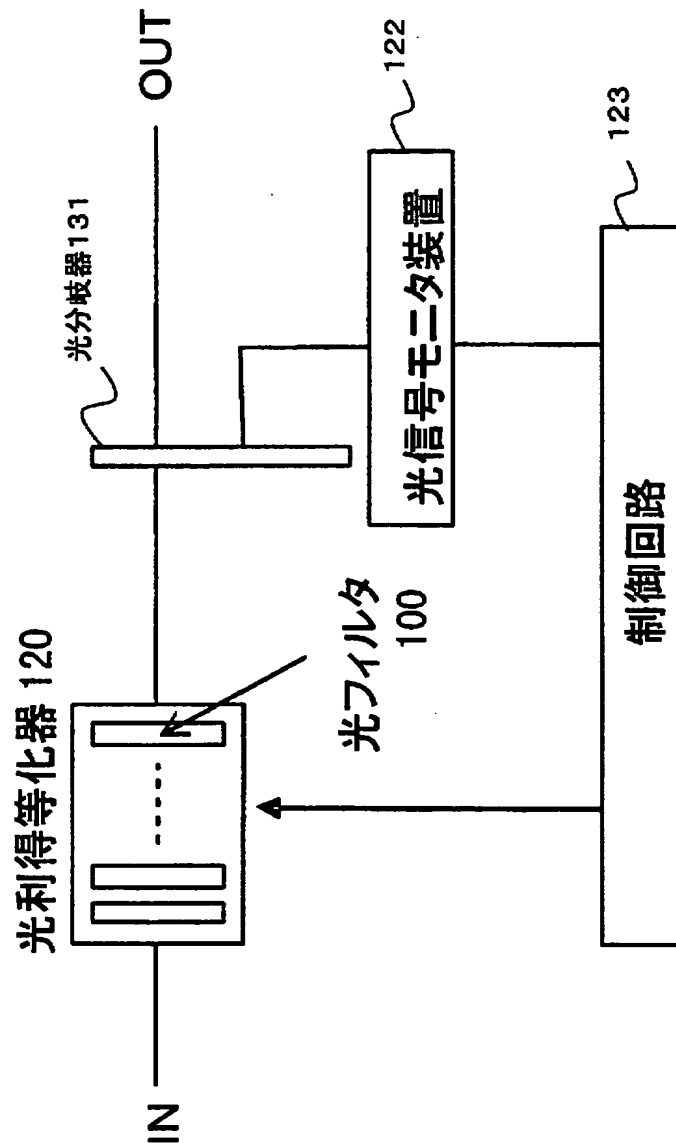
【図 13】

第1実施形態に係わる光フィルタの
フィルタスペクトルの一例を示す図(その10)



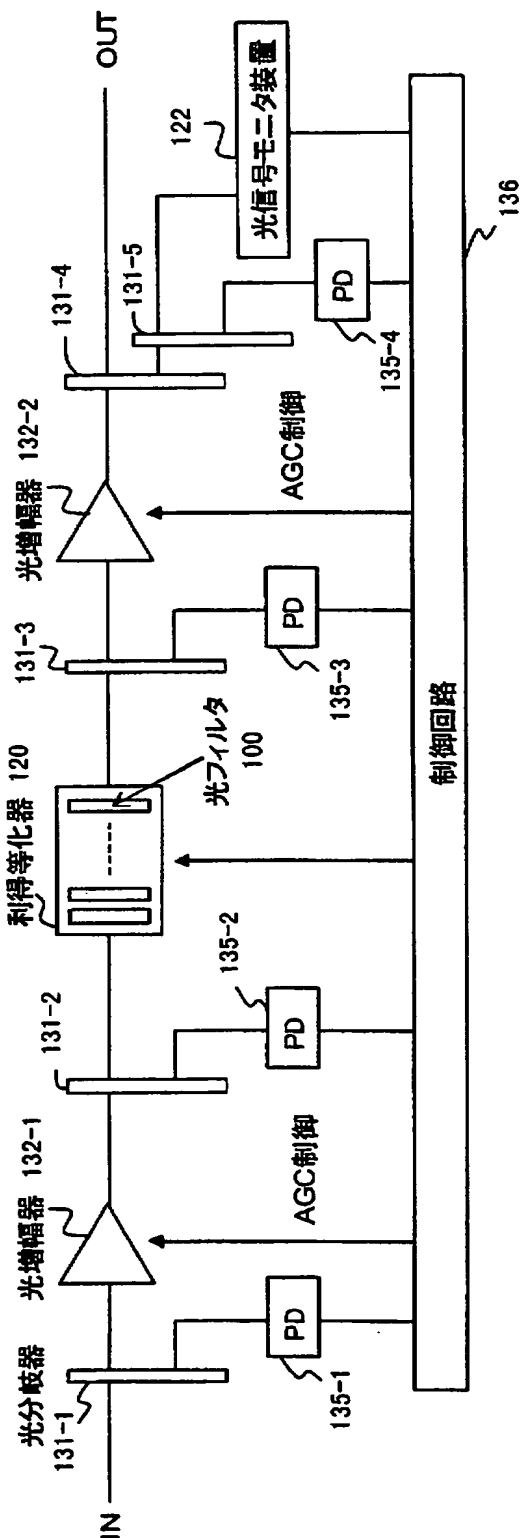
【図 14】

第2実施形態に係わる光利得等化器の構成例を示す図



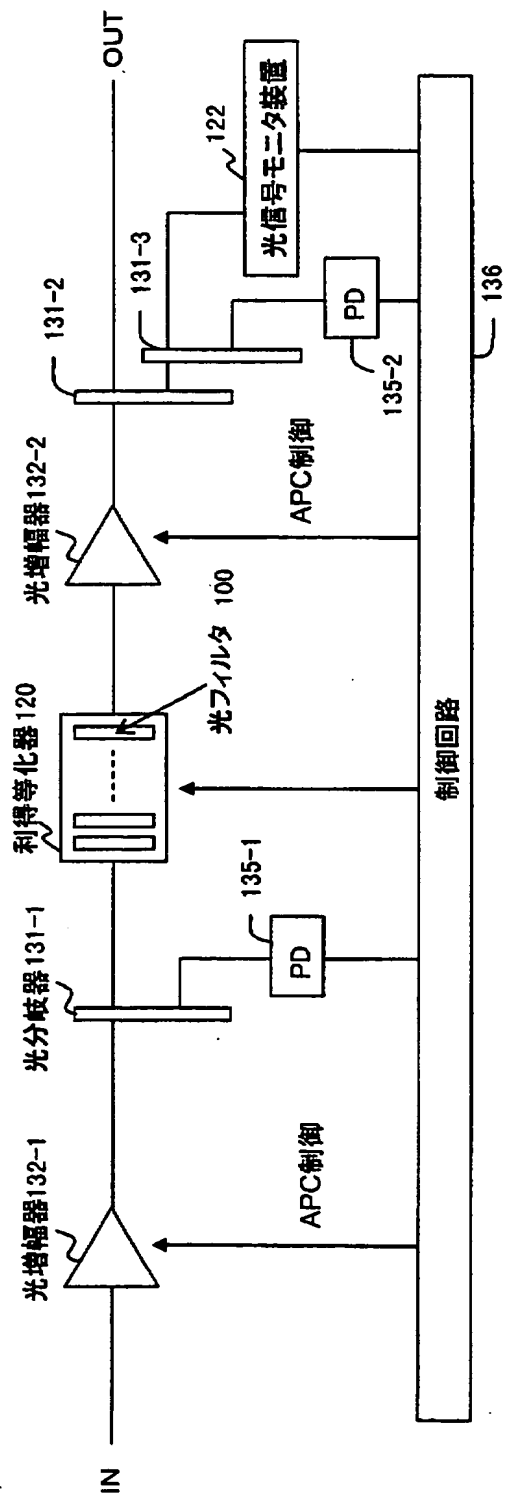
【図 15】

第3実施形態に係わる光増幅器の構成例を示す図(その1)



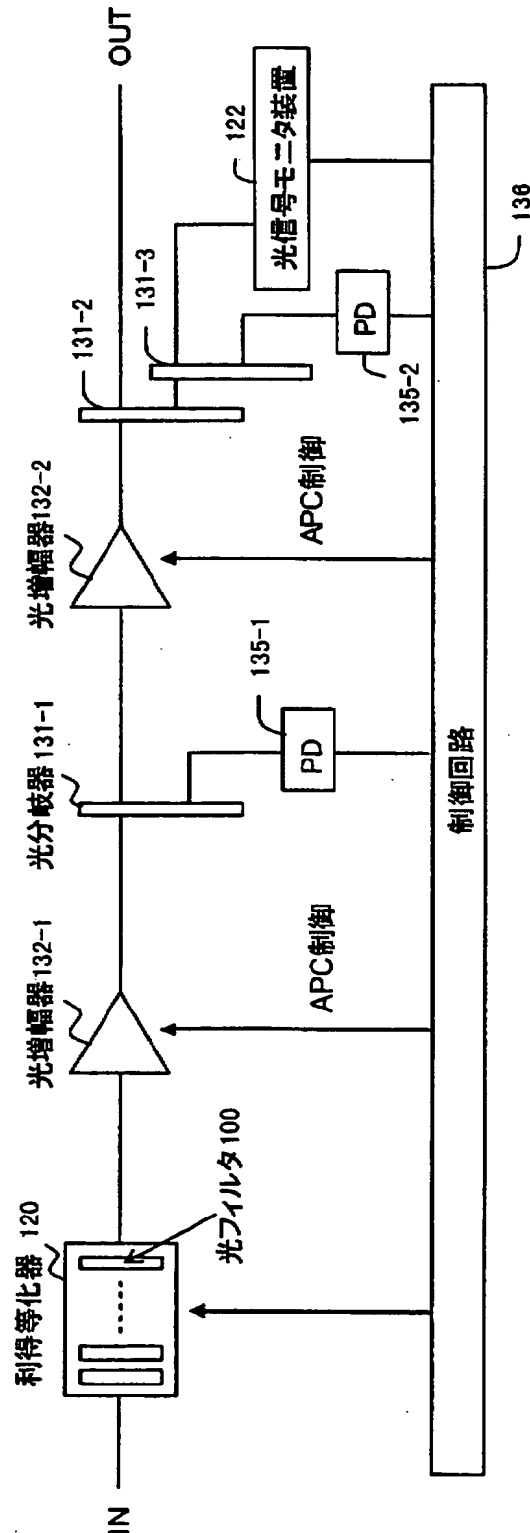
【図 16】

第3実施形態に係わる光増幅器の構成例を示す図(その2)



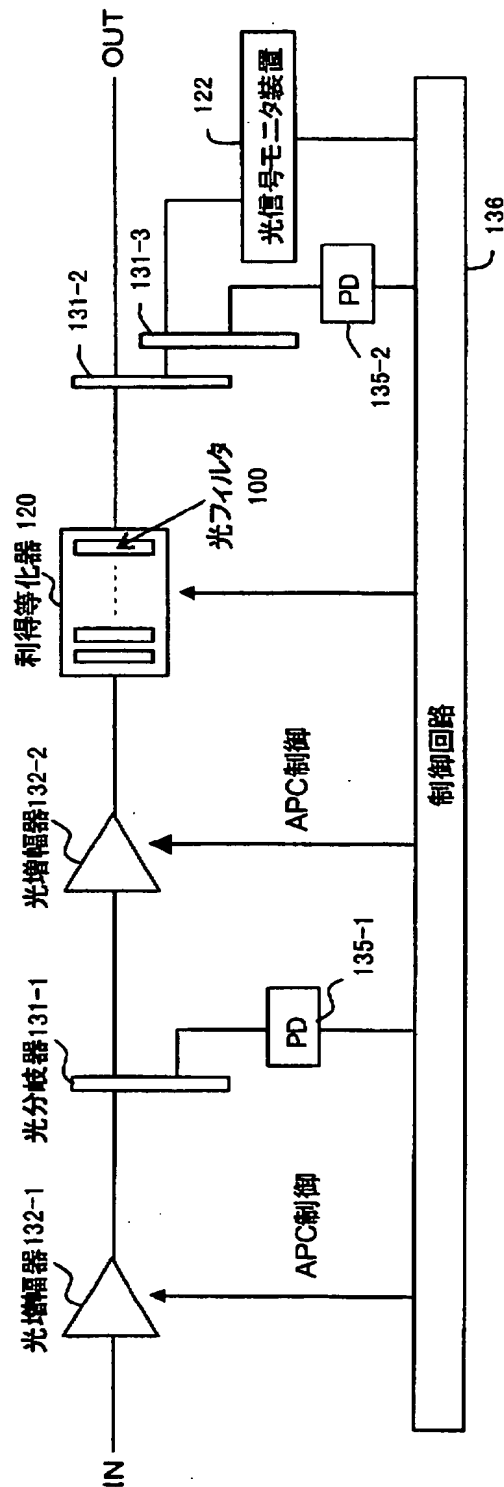
【図 17】

第3実施形態に係わる光増幅器の構成例を示す図(その3)



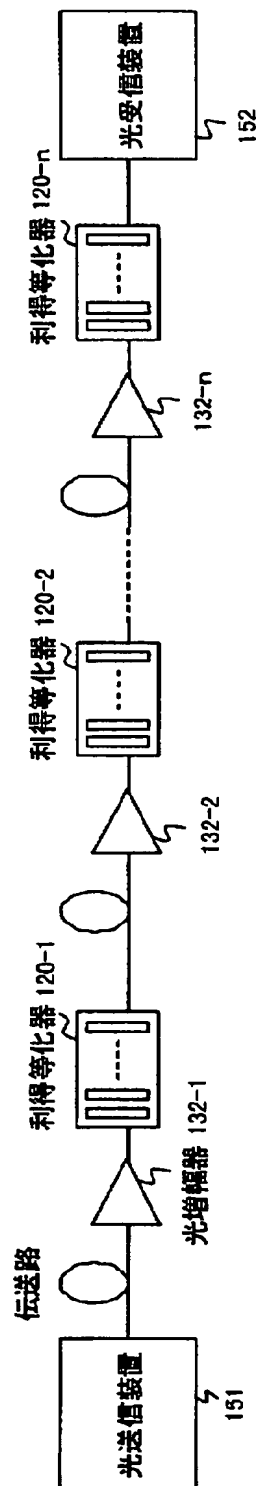
【図 18】

第3実施形態に係わる光増幅器の構成例を示す図(その4)



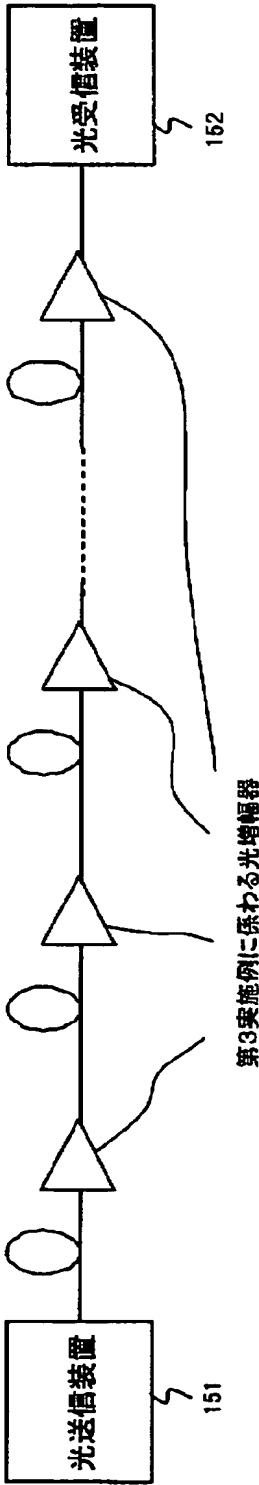
【図 19】

第4実施形態に係わる
光伝送システムの構成例を示す図(その1)

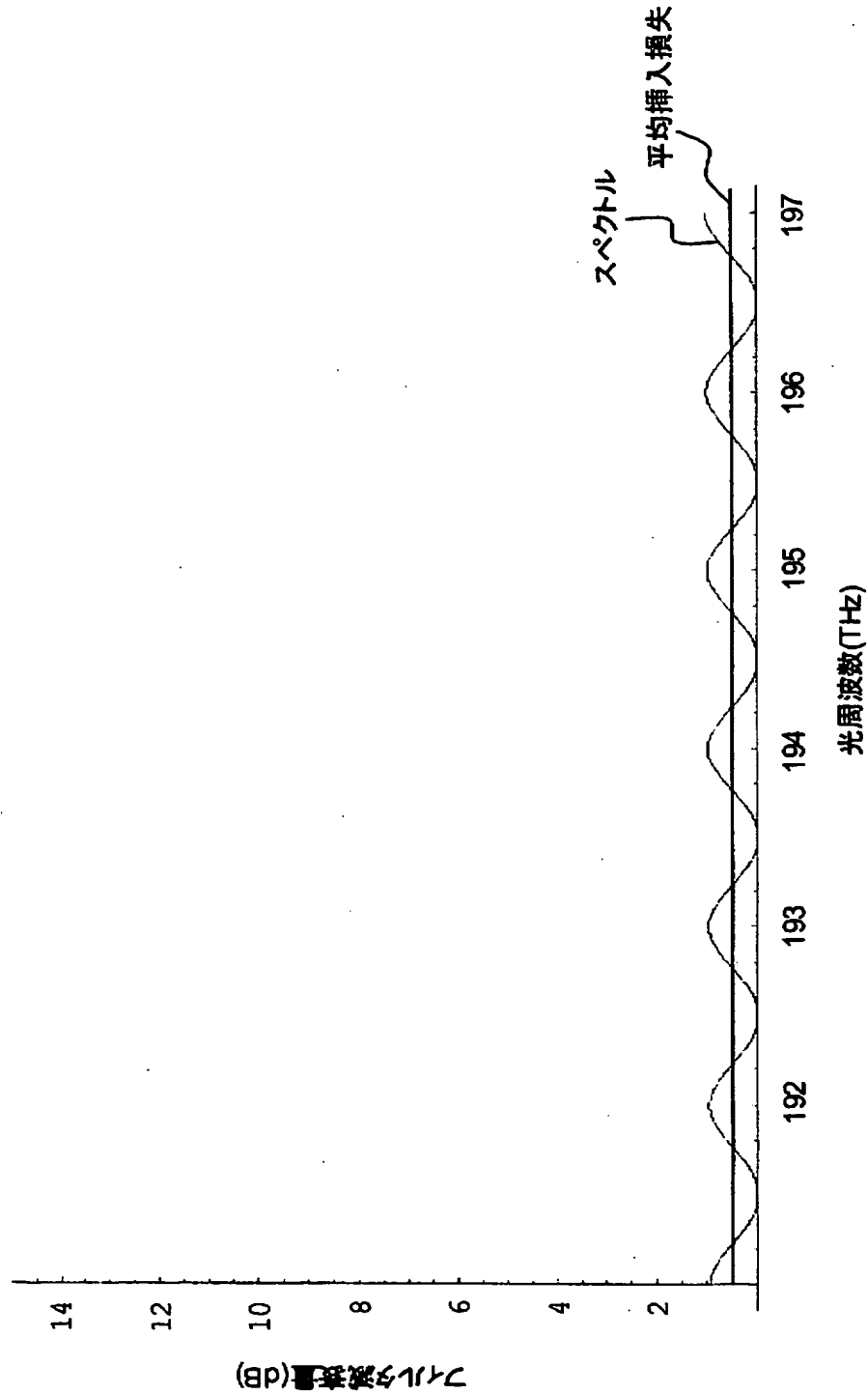


【図 20】

第4実施形態に係わる
光伝送システムの構成例を示す図(その2)

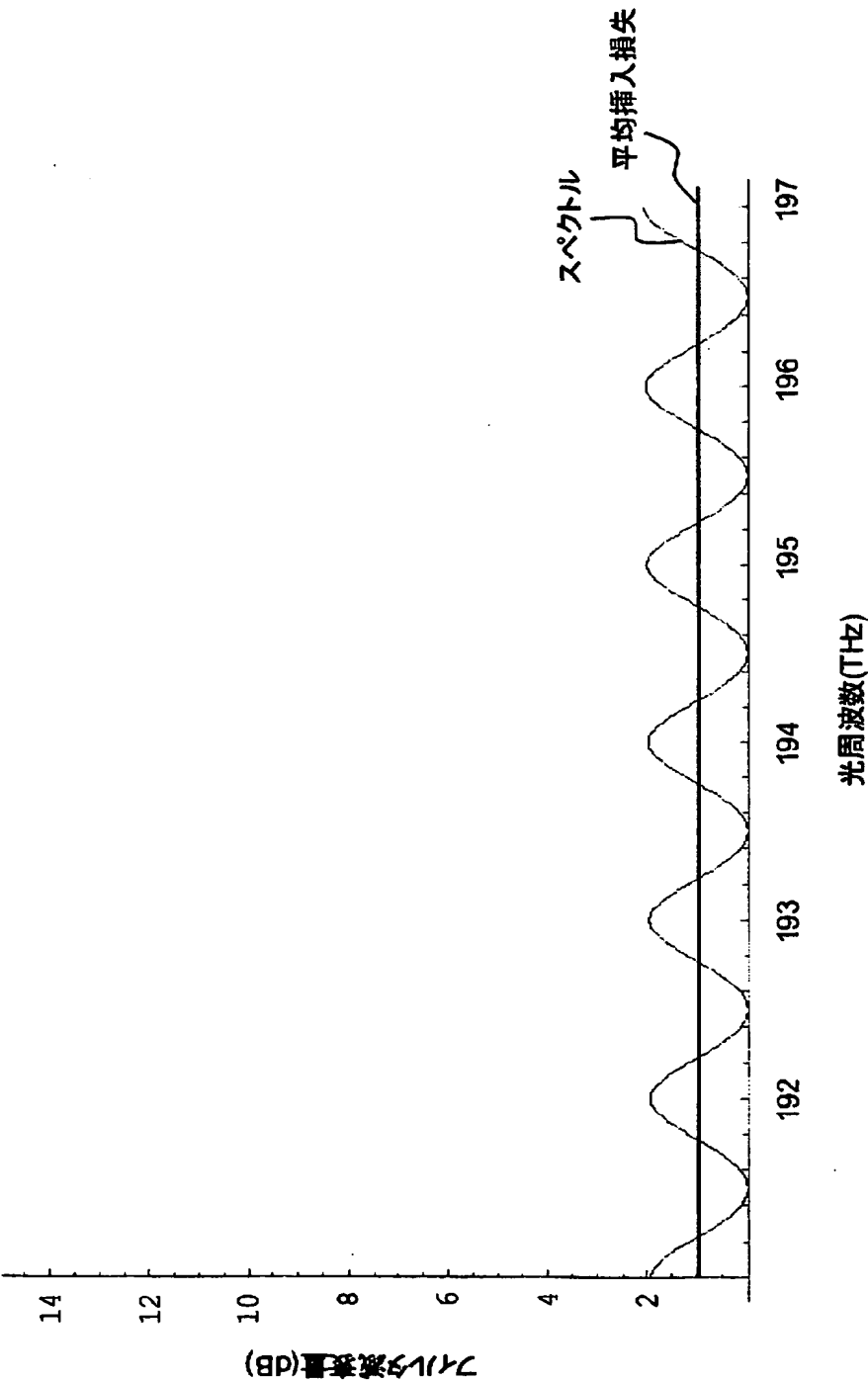


【図 21】

従来技術における光フィルタの
フィルタスペクトルの例を示す図(その1)

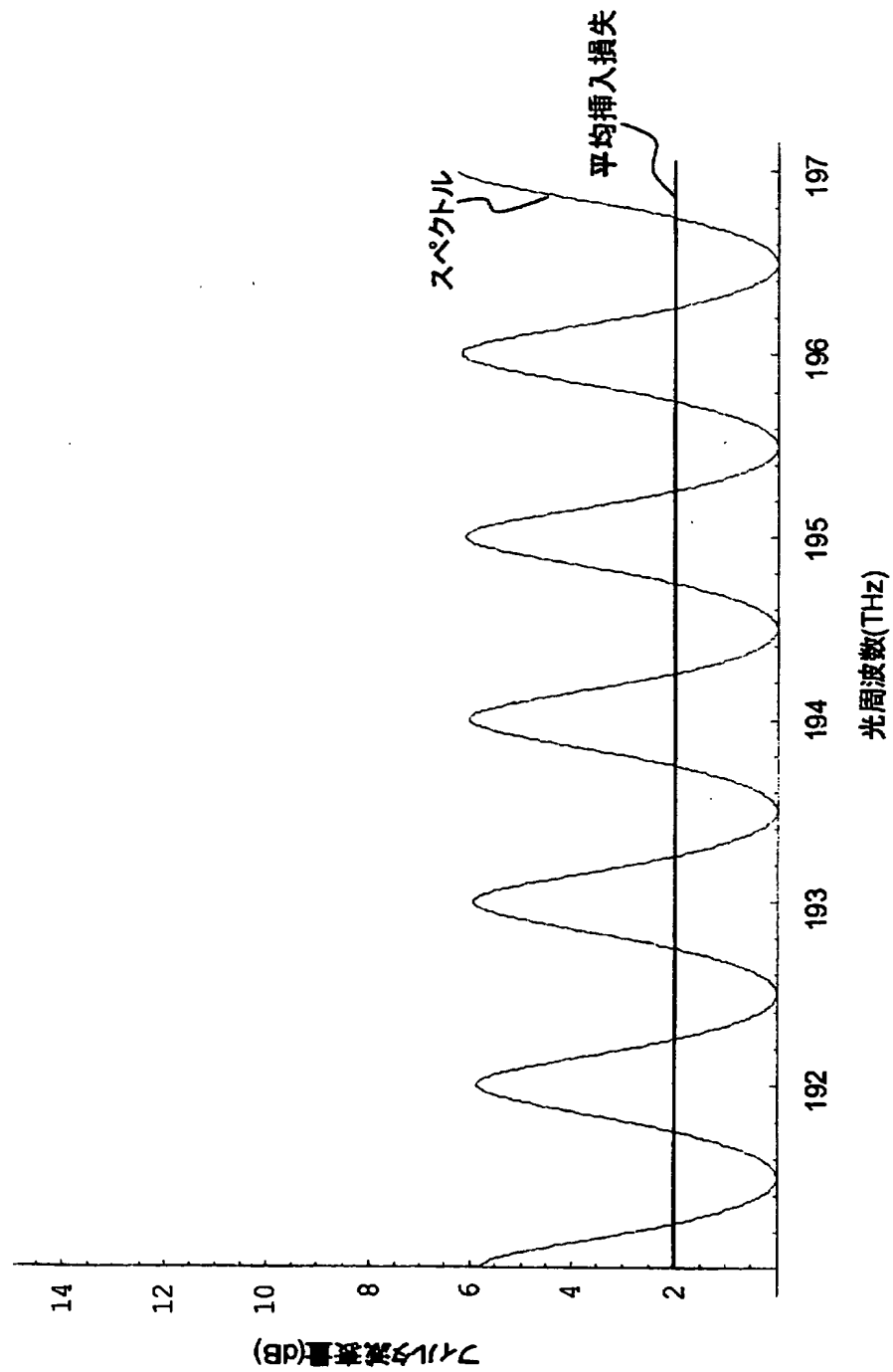
【図 22】

従来技術における光フィルタの
フィルタスペクトルの例を示す図(その2)



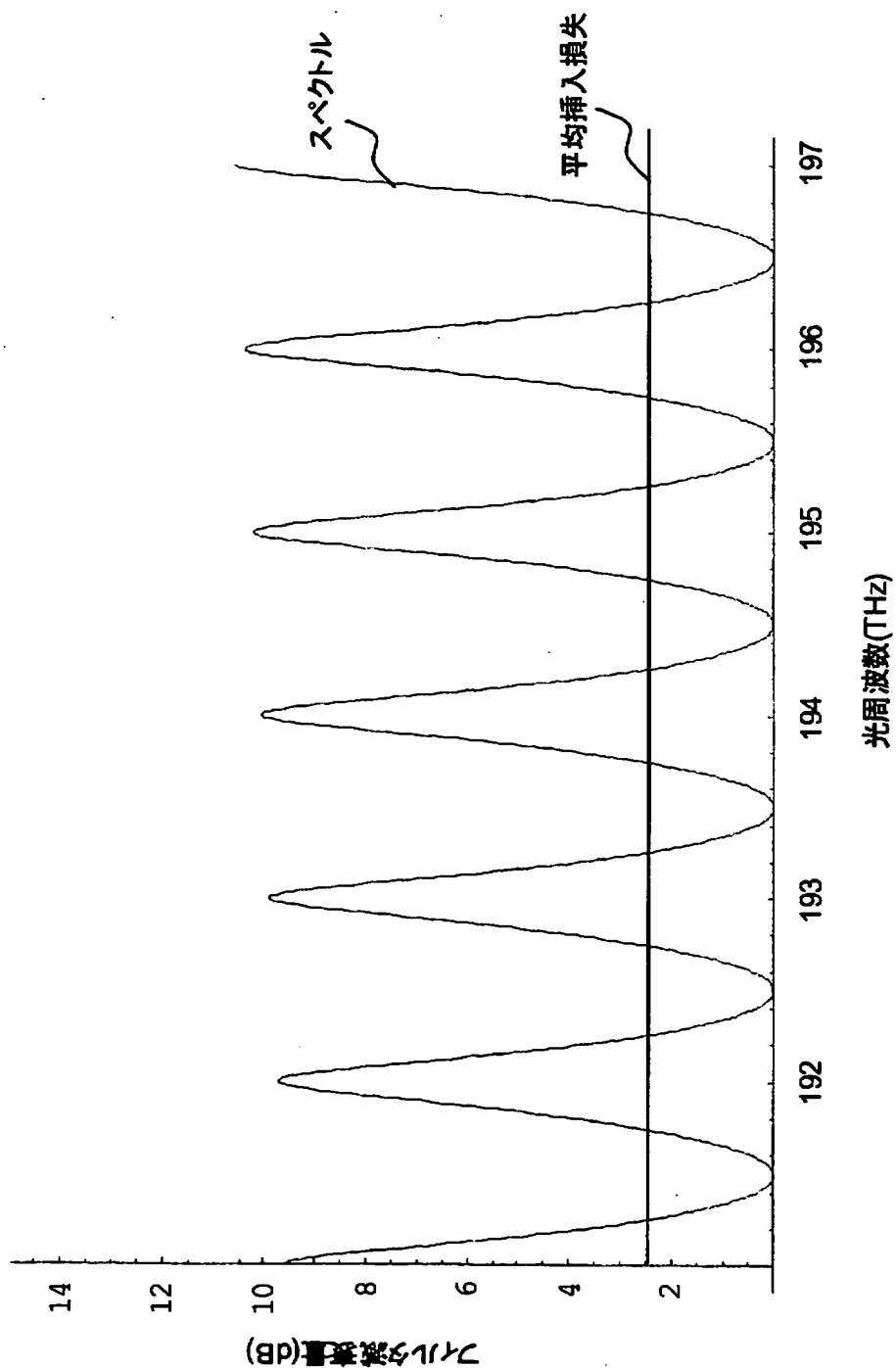
【図 23】

従来技術における光フィルタの
フィルタスペクトルの例を示す図(その3)



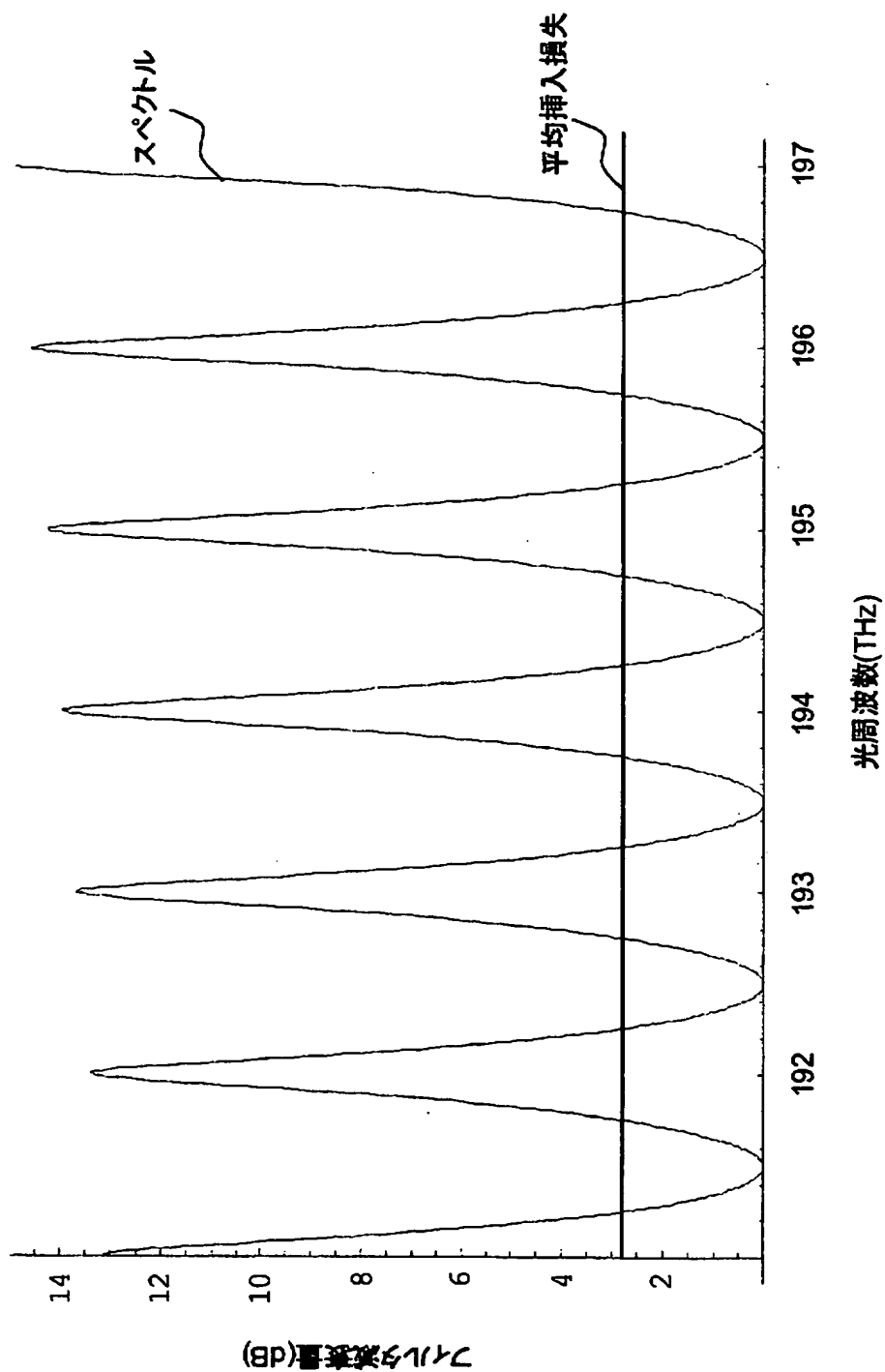
【図 24】

従来技術における光フィルタの
フィルタスペクトルの例を示す図(その4)



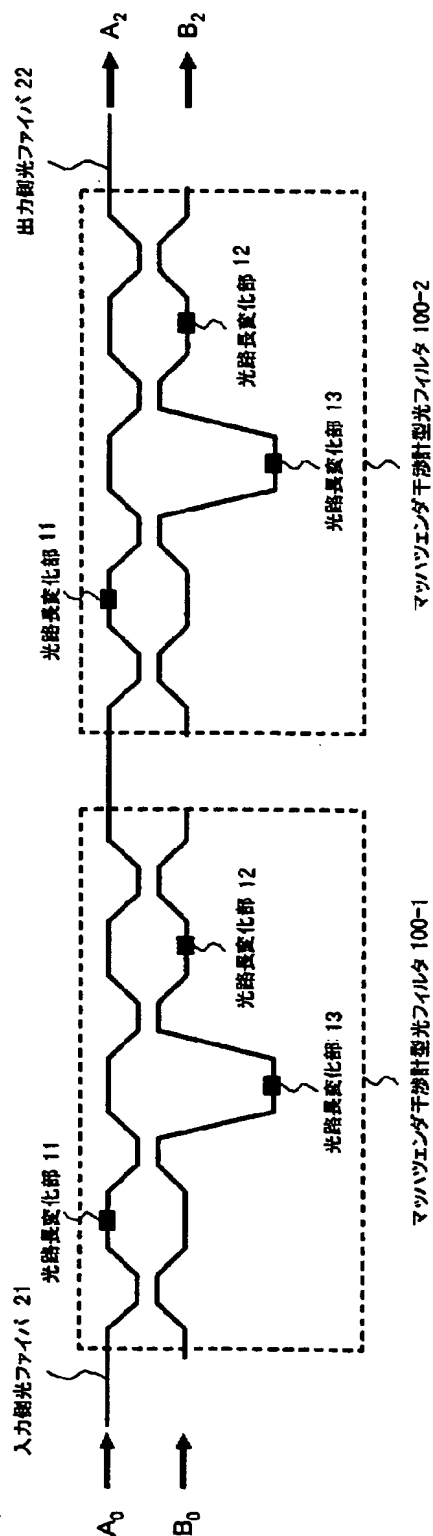
【図 25】

従来技術における光フィルタの
フィルタスペクトルの例を示す図(その5)



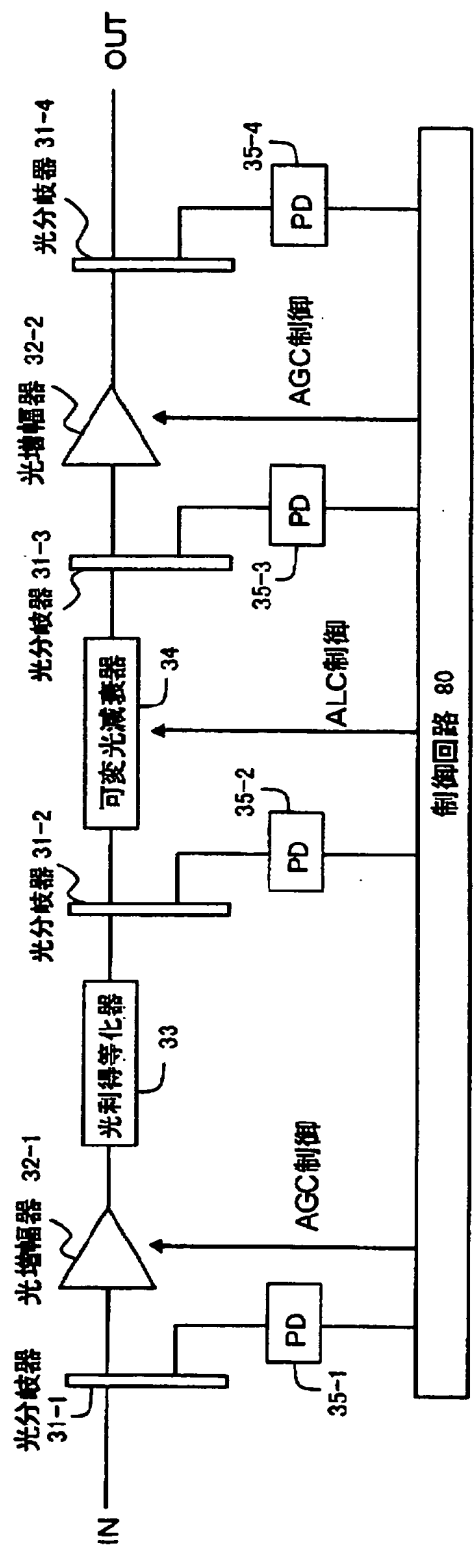
【図 26】

光利得等化器の構成例を示す図



【図 27】

従来技術における光増幅器の構成例を示す図



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 マッハツェンダ干渉計型光フィルタにおいて、フィルタ消光比を制御する際に、フィルタ平均挿入損失が変動してしまうという問題を解決する。

【解決手段】 3つのマッハツェンダ干渉計を縦列接続することにより構成される光フィルタにおいて、光フィルタのフィルタ消光比を制御するための2つの光路長変化部11及び12に与える光路長変化量を、上記光フィルタのフィルタ平均挿入損失、上記フィルタ消光比、並びに2つの光路長変化部に与える光路長変化量との関係を示す式に基づいて設定するように構成する。

【選択図】 図1

特願 2 0 0 3 - 0 1 8 0 5 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 2 2 3]

1. 変更年月日

1 9 9 6 年 3 月 2 6 日

[変更理由]

住所変更

住 所

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号

氏 名

富士通株式会社